



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD INGENIERIA
CARRERA DE AGROINDUSTRIA**

Caracterización del germinado de Amaranto Caudatus (*Amaranthus caudatus*)

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Agroindustrial

Autor:

Rubio Gullqui Andrea Carolina

Tutor:

Ing. Paul Stalin Ricaurte Ortiz, PhD.

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Andrea Carolina Rubio Gullqui, con cédula de ciudadanía 0604559849, autora del trabajo de investigación titulado: Caracterización del germinado de Amaranto Caudatus (*Amaranthus caudatus*), certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a la fecha de su presentación 19 de mayo de 2025

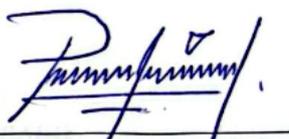


Andrea Carolina Rubio Gullqui
C.I: 0604559849

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Paul Stalin Ricaurte Ortiz PhD. catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación Caracterización del germinado de Amarantho Caudatus (*Amaranthus caudatus*) bajo la autoría de Andrea Carolina Rubio Gullqui; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 19 días del mes de mayo de 2025



Ing. Paul Stalin Ricaurte Ortiz PhD.

C.I: 0601435751

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Caracterización del germinado de Amarantho Caudatus (*Amaranthus caudatus*) por Andrea Carolina Rubio Gullqui, con cédula de identidad número 0604559849, bajo la tutoría de Paul Stalin Ricaurte Ortiz PhD.; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 19 de mayo de 2025

PhD. Cristian Javier Patiño Vidal
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Daniel Alejandro Luna Velasco
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD. Darío Javier Baño Ayala.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



CERTIFICACIÓN ANTIPLAGIO

Que, **Rubio Gullqui Andrea Carolina** con CC: **0604559849**, estudiante de la Carrera de **Agroindustria**, VIGENTE, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado “**Caracterización del germinado de amaranto (*Amaranthus caudatus*)**”, cumple con el 5%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **Compilation Magister+**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 12 de mayo de 2025



Ing. Paul Stalin Ricaurte PhD.
TUTOR

DEDICATORIA

A mi familia, con todo mi amor.

A mis padres, por ser la raíz firme que me sostuvo cuando el cansancio me vencía, por su guía silenciosa y constante, por su confianza inquebrantable en mí. Gracias por su paciencia, sacrificios y por enseñarme que los sueños se construyen con trabajo, fe y constancia.

A mi hermano, por ser mi amigo, estar presente, acompañarme, y hacerme sonreír incluso en los peores días.

Con el corazón lleno de emoción, dedico con especial énfasis este logro, a mis abuelitos, Jorge Villacis, Moisés Rubio, Ana Sánchez, quienes ya no están físicamente a mi lado, pero sé que me han acompañado desde el cielo, por este camino. A ustedes, que fueron abrigo en mi infancia y ejemplo de amor en mi vida. Me hubiera encantado que vivieran este momento a mi lado, porque sé que lo habrían celebrado con orgullo y ternura. Esta meta es también su legado. Gracias por todo lo que me enseñaron, por sus palabras, abrazos, historias.

Gracias a todos por ser mi impulso y mi hogar. Esta dedicatoria es un pequeño intento de poner en palabras, mi agradecimiento y decirles que no sería quien soy sin ustedes.

AGRADECIMIENTO

Llegar hasta aquí no ha sido un camino sencillo, pero ha estado lleno de personas que ha hecho de este viaje algo inolvidable. A todos ustedes gracias de corazón.

A mi familia, por su amor, su comprensión y paciencia, gracias por creer en mí, incluso cuando yo dudaba. Por ser mi refugio cuando las cosas no salían bien, y ser mi propulsor cuando parecía cuesta arriba.

A mis amigos, los de siempre y los que la vida me fue regalando en el camino. Gracias por sus palabras de aliento, por escucharme y celebrar conmigo incluso los pequeños triunfos, al igual que acompañarme, cuando las lágrimas ganaban. Ustedes convirtieron mis días pesados, más llevaderos, los días cansados, alegres, su amistad ha sido uno de los regalos más valiosos que me ha dado la universidad.

A todas las personas con quien compartí en las aulas de clase, por compartir tantas experiencias, desvelos, trabajos, risas, frustraciones, aprobados. Juntos hicimos de estos años algo más allá de lo académico, cada uno de ustedes dejó una marca, y me llevo junto a ustedes no solo aprendizajes, sino memorias imborrables.

A cada uno de los ingenieros que formo parte de mi vida académica, que me guiaron en este recorrido, gracias por compartir su conocimiento, por retarme a innovar, a pensar diferente y por impulsarme a crecer, tanto como estudiante, como persona, sus enseñanzas fueron más allá de los libros.

A todas las personas que, de una forma u otra, formaron parte de estos años: gracias. A quienes ofrecieron una palabra, consejo, ayuda, durante todo este trayecto. A todas esas personas que fueron clave, incluso sin saberlo. Este logro no es solo mío, sino también de ustedes.

Y finalmente, gracias a Dios por las lecciones, las caídas y por las oportunidades de levantarme, por todo lo que me hizo fuerte, más humana y consciente del valor de este camino.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	15
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 Problema.....	16
1.3 Justificación.....	16
1.4 Objetivos.....	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 MARCO REFERENCIAL	18
2.2 MARCO CONCEPTUAL	19
2.2.1 Amaranto	19
2.2.2 Germinación	22
2.2.3 Beneficios de incluir semillas y germinados en la alimentación.....	24
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	27
3.1 Tipo de Investigación.	27
3.2 Diseño Experimental	27
3.2.1 Procedimiento utilizado para germinar las semillas	27
3.2.2 Procedimiento utilizado para los análisis físicoquímicos.....	30
3.2.3 Instrumentos	33
3.3 Técnicas de recolección de datos.....	34
3.4 Población de estudio y tamaño de muestra.....	35
3.5 Hipótesis	35
3.6 Procesamiento de datos.	36
3.7 Métodos de Análisis	36
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1 Resultados del procedimiento de germinación.....	37
4.2 Discusión	47

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	49
5. BIBLIOGRAFÍA	50
6. ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Taxonomía del <i>Amaranthus caudatus</i>	20
Tabla 2 Composición química	21
Tabla 3 Proceso de germinación	29
Tabla 4 Observaciones durante el proceso de germinación	29
Tabla 5 Instrumentos, equipos, reactivos, materia prima	33
Tabla 6 Recolección de datos	35
Tabla 7 Codificación.....	36
Tabla 8 Test de Anova para humedad	37
Tabla 9 Test de Tukey para humedad	38
Tabla 10 Test de Anova para cenizas.....	38
Tabla 11 Test de Tukey para cenizas	39
Tabla 12 Test de Anova para grasa.....	39
Tabla 13 Test de Tukey para grasa	40
Tabla 14 Test de Anova para fibra	40
Tabla 15 Test de Tukey para fibra	41
Tabla 16 Test de Anova para proteína	41
Tabla 17 Test de Tukey para proteína.....	42
Tabla 18 Análisis de humedad	43
Tabla 19 Análisis de cenizas.....	44
Tabla 20 Análisis de grasa.....	44
Tabla 21 Análisis de fibra	45
Tabla 22 Análisis de proteína	46
Tabla 23 Datos para el análisis de humedad	56
Tabla 24 Datos para el análisis de cenizas.....	57
Tabla 25 Datos para el análisis de grasa.....	58
Tabla 26 Datos para el análisis de fibra.....	59
Tabla 27 Datos para el análisis de proteína.....	60
Tabla 28 Datos para el análisis de humedad	61
Tabla 29 Datos para el análisis de cenizas.....	62
Tabla 30 Datos para el análisis de grasa.....	63
Tabla 31 Datos para el análisis de fibra.....	64
Tabla 32 Datos para el análisis de proteína.....	65
Tabla 33 Datos para el análisis de humedad	66
Tabla 34 Datos para el análisis de cenizas.....	67
Tabla 35 Datos para el análisis de grasa.....	68

Tabla 36 Datos para el análisis de fibra.....	69
Tabla 37 Datos para el análisis de proteína.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1	Almidón en semillas no germinadas	46
Ilustración 2	Almidón en semillas germinadas	47
Ilustración 3	Sustrato algodón (vista lateral)	71
Ilustración 4	Sustrato algodón (vista superior)	71
Ilustración 5	Germinado en algodón	72
Ilustración 6	Sustrato gasa (vista lateral)	72
Ilustración 7	Sustrato gasa (vista superior)	73
Ilustración 8	Sustrato papel (vista lateral).....	73
Ilustración 9	Germinado en papel	74
Ilustración 10	Estufa de secado.....	75
Ilustración 11	Placas Petri con muestra	75
Ilustración 12	Mufla Thermolyne	76
Ilustración 13	Muestras después de incineración.....	76
Ilustración 14	Equipo Soxhlet.....	77
Ilustración 15	Digestión de muestra para análisis de fibra cruda	77
Ilustración 16	Filtración de extracto vegetal.....	78
Ilustración 17	Digestor VELP	78
Ilustración 18	Destilador automático VELP	79
Ilustración 19	Prueba cualitativa del almidón.....	79
Ilustración 20	Soluciones para análisis en el laboratorio	80

RESUMEN

La malnutrición sigue siendo un problema en muchas comunidades vulnerables, donde conseguir alimentos con un buen valor nutricional no siempre es posible, en este caso, el *Amaranthus caudatus* aparece como una alternativa interesante por su riqueza en nutrientes. Asimismo, su valor puede aumentar si se somete a un proceso de germinación, ya que esto nos ayudará a aprovechar los nutrientes de mejor manera. En este trabajo se compararon las propiedades físicoquímicas de las semillas germinadas y de las no germinadas para así poder evaluar su aporte nutricional. Para lo cual se utilizó tres tipos de sustratos: gasas, algodón y papel absorbente, en las cuales se mantuvieron condiciones controladas de humedad, temperatura y luz. Para realizar el análisis físico químico, se aplicaron métodos estandarizados, para así evaluar los resultados con una prueba ANOVA para ver si hubo diferencias significativas entre los tratamientos. Con los resultados obtenidos se logró determinar que las semillas germinadas aumentaron visiblemente su humedad (de 10,74% a 16,23%) ceniza (de 2,89% a 4,54%) proteína (de 15,38% a 20,02%) y fibra. Mientras que, el nivel de grasa disminuyó (de 6,51% a 3,38%) y el del almidón (de 52,60% a 31,49%). El algodón fue el sustrato que logro mejores resultados ya que obtuvo una germinación rápida y uniforme. En resumen, la germinación mejora considerablemente el perfil nutricional del amaranto, lo que lo hace valioso para alimentos funcionales y posibles aplicaciones agroindustriales.

Palabras claves: germinación, sustratos, alimento funcional, nutrición, biodisponibilidad, sustrato.

ABSTRACT

Malnutrition remains a pressing issue in many vulnerable communities, particularly where access to nutrient-dense foods is limited. In this context, *Amaranthus caudatus* presents a promising alternative due to its rich nutritional composition. Its potential can be further augmented through germination, a biological process known to enhance nutrient bioavailability. This study aimed to evaluate the differences in physicochemical properties between germinated and non-germinated *A. caudatus* seeds, with the objective of maximizing their nutritional potential. Germination was carried out using three different substrates—moist absorbent paper, gauze, and cotton—under controlled conditions of humidity, temperature, and light. Standardized methodologies were employed for physicochemical analysis, and the resulting data were subjected to statistical evaluation using ANOVA to determine significant differences across treatments and substrates. The findings revealed a marked increase in moisture content (from 10.74% to 16.23%), ash (from 2.89% to 4.54%), protein (from 15.38% to 20.02%), and fiber (from 6.81% to 13.44%) in germinated seeds. Conversely, reductions were observed in fat content (from 6.51% to 3.38%) and starch (from 52.60% to 31.49%). Among the tested substrates, cotton proved to be the most effective, facilitating rapid and uniform germination. Overall, the germination process significantly enhances the nutritional attributes of *A. caudatus*, underscoring its potential as a valuable component in the development of functional foods and its suitability for future industrial applications.

Key words: germination, substrates, functional food, nutrition, bioavailability, substrate.



Mario Nicolas Salazar
Ramos



Revised by
Mario N. Salazar

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

1.1 Antecedentes

El amaranto es reconocido por su elevado valor nutricional y su capacidad de adaptarse a condiciones climáticas adversas. Este cultivo ancestral, utilizado por civilizaciones de América Central y del Sur, se destaca por su rica composición de proteínas, aminoácidos esenciales y minerales, lo que lo convierte en un alimento funcional de gran importancia por su interés para el beneficio de la salud humana (Raya et al., 2014).

Varias investigaciones han demostrado que el efecto de la germinación induce cambios en la composición química del amaranto. Entre ellos, se encuentra el aumento en el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, que provocan una mayor capacidad antioxidante del amaranto, aumentando su potencial como alimento funcional para afecciones cardiovasculares y metabólicas, como las cardiovasculares y las metabólicas.

La activación enzimática que ocurre durante la germinación favorece la liberación de compuestos fenólicos, así como una respuesta al estrés oxidativo, lo que explica el aumento de su capacidad antioxidante (Guardianelli et al., 2019).

El amaranto, al ser germinado, eleva el contenido de vitamina C, vitamina E y otros compuestos antioxidantes, reforzando así, su propiedad funcional de la prevención de enfermedades cardiovasculares y metabólicas (Sarmiento & Pachari, 2022).

El aumento de vitamina C, vitamina E y antioxidantes en el amaranto germinado ocurre debido a una mayor actividad metabólica, la respuesta al estrés oxidativo. Esto fortalece su capacidad funcional para prevenir enfermedades cardiovasculares y metabólicas.

Dado que los compuestos bioactivos encontrados en el amaranto germinado han demostrado poseer actividades antihipertensivas, este se convierte en un alimento prometedor contra las enfermedades cardiovasculares.

Un alto nivel de fibra encontrado en el amaranto germinado conduce a una mejor salud digestiva, previniendo, de manera eficiente el estreñimiento y a su vez, favorece el desarrollo de un microbiota intestinal saludable (Valls, 2021).

El amaranto germinado tiene actividades antimicrobianas que ayudan en se preservación natural, lo que lo hace adecuado para la fabricación de productos con una mayor vida útil.

El amaranto germinado ha sido empleado con éxito en la producción de barras de cereal, pan e incluso algunas bebidas, mejorando el perfil sensorial de estos productos y al mismo tiempo, sus valores nutricionales, atrayendo a la par a los consumidores orientados a mejorar su salud.

1.2 Problema

El tema de la nutrición en la población de la sierra ecuatoriana se ha convertido en motivo de preocupación, particularmente por el aumento de enfermedades cardiovasculares. Estudios recientes han señalado que estas afecciones están en ascenso en la región, y la ausencia de alimentos germinados en la dieta podría ser un factor clave en la búsqueda de soluciones a este problema (Romero et al., 2020).

De acuerdo con datos del Ministerio de Salud Pública (MSP), las enfermedades cardiovasculares son una causa importante de enfermedad y muerte en la población de los habitantes de la sierra ecuatoriana. La falta de acceso a una dieta adecuada, que debe ser rica en nutrientes esenciales como: proteínas, fibra, vitaminas, carbohidratos, etc., los cuales se encuentran en los alimentos germinados, se ha identificado como un factor de riesgo clave para desarrollar estas enfermedades (OPS, 2023).

En las comunidades de las tierras altas del Ecuador, las dietas actuales están relacionadas con problemas como la obesidad, la hipertensión y las enfermedades del corazón. Un estudio llevado a cabo en agroecosistemas de la región andina sugiere que el sobrepeso y la obesidad que se observan en estas zonas se deben, en gran parte, ANOVAa hábitos alimenticios, poco saludables (Gallegos et al., 2023).

Por eso, investigar el germinado de amaranto y su potencial para ofrecer alimentos más nutritivos y accesibles resulta muy importante para la sierra ecuatoriana, si se desarrollan estrategias efectivas que impulsen el consumo de alimentos germinados, se podría contribuir significativamente a prevenir enfermedades cardiovasculares y mejorar la salud y calidad de vida de las personas que viven en estas comunidades (Aylen, 2021).

1.3 Justificación

Este trabajo se enfoca que comparar las características entre semillas germinadas y no germinadas, para entender mejor como el proceso de germinación influye en su valor nutricional en el contexto de la investigación agroindustrial y su uso potencial en la industria alimentaria. El enfoque del estudio se dirigirá hacia la evaluación de las distintas características de las semillas en ambos estados, lo cual servirá como base sólida para la elaboración de alimentos de mayor calidad en el futuro (Donazzolo et al., 2017).

Los análisis contemplarán una variedad de aspectos, tales como los porcentajes de humedad, proteína, fibra, grasa y ceniza, la información obtenida busca servir como una herramienta para la industria de alimentos, con una comprensión detallada de cómo influye el proceso de germinación en la calidad nutricional y funcional de las semillas (Hernández et al., 2018).

Este trabajo toma importancia debido a que puede aportar ideas útiles para mejorar la nutrición, en el ámbito de la agroindustria, así también en el desarrollo e innovación de alimentos que beneficien a la salud de los consumidores (Lozano, 2024).

La finalidad de esta investigación es brindar datos confiables que puedan respaldar decisiones dentro del sector alimentario, los resultados permitirán entender como la germinación influye en las semillas y como estos abre nuevas posibilidades de optimizar procesos y desarrollar productos más sanos y nutritivos (Mena et al., 2023).

Además, esta investigación busca resaltar las propiedades del amaranto que pueden ser buenas para la salud y la nutrición, al mismo tiempo que se abordan temas relacionados con la seguridad alimentaria, promoviendo su uso en la alimentación diaria (Cervantes, 2014).

1.4 Objetivos

General

Caracterizar germinados de Amaranto Caudatus (*Amaranthus caudatus*)

Específicos

- Aplicar un procedimiento de germinación específico para el amaranto, con el fin de optimizar su potencial nutritivo y eficaz.
- Analizar la variación de las propiedades fisicoquímicas del amaranto germinado, en contrastante con el amaranto en estado no germinado, e identificar las diferencias significativas en términos de composición química y perfil de nutrientes.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 MARCO REFERENCIAL

Según Mendoza (2019) los avances tecnológicos han hecho que el proceso de germinación del amaranto sea más eficiente y de mejor calidad, por ejemplo, la germinación apoyada con bioestimulantes ha dado buenos resultados, mejorando sus propiedades nutritivas y funcionales.

Rincón & López (2020), hicieron un estudio donde usaron distintos materiales como sustratos para ver cómo germinaban las semillas, toalla de papel, periódico impreso y sin imprimir. En su trabajo también tomaron en cuenta el ambiente, usando condiciones controladas y métodos simples para ver cuán viables eran las semillas.

De igual manera Bonilla (2014) señala que aplicar técnicas como preparar bien las semillas y controlar la temperatura puede ayudar bastante a que germinen mejor, sobre todo en cultivos bajo condiciones controladas.

La germinación, como se ha visto, depende de varios factores como el tipo de sustrato, la luz y la temperatura. Palacios (2000) hizo un estudio donde probó distintas combinaciones para mejorar este proceso. Ahí se vio que elegir bien el tiempo de remojo, controlar la luz y temperatura, así como usar un buen sustrato, puede hacer que las semillas germinen más fácilmente.

Aylen (2021), también menciona que para una semilla germine, necesita un ambiente adecuado, con suficiente agua, buena luz temperatura, todo empieza cuando el agua entra en la semilla, llega al embrión y activa su crecimiento.

La semilla de amaranto germinada resalta por ofrecer beneficios significativos para la salud, como su efecto antioxidante, antiinflamatorio y antihipertensivos López Mejía, López Malo, & Palou (2014). Los extractos de los germinados muestran una notable actividad antioxidante, atribuida a la presencia de compuestos como fenoles y flavonoides, investigaciones señalan que estos ayudan a disminuir la presión arterial, esto refuerza su valor en la prevención de enfermedades cardiovasculares.

El germinado de *Amaranthus caudatus*, ha cobrado importancia en la industria alimentaria debido a sus destacadas propiedades funcionales y los beneficios que aportan a la salud, la incorporación en alimentos como barras de cereal, pan integral y bebidas, se han extendido por su capacidad para incrementar la calidad alimentaria, de acuerdo con Martínez (2021), la adición de los germinados de amaranto en productos horneados contribuye a incrementar el valor proteico y a mejorar la textura y sabor de estos.

Más allá de su valor nutricional, el amaranto germinado también ha sido objeto de investigaciones por sus posibles efectos anticancerígenos. En estudios realizados por González, González, Durán, Perera y Benítez (2016), se observó que ciertos extractos derivados del germinado presentaron actividad inhibitoria sobre células tumorales.

En lo que respecta al impacto en la salud digestiva, el alto contenido de fibra de las semillas germinadas de amaranto favorece el tránsito intestinal y previene el estreñimiento. Escudero Álvarez y González Sánchez (2006) señalan que su fibra actúa como un prebiótico natural, este estimula la proliferación de bacterias beneficiosas en el microbiota intestinal, lo que fortalece tanto, el sistema digestivo como la inmunidad.

Guardianelli (2022), por otra parte, destaca que el consumo de germinados puede ser útil en programas de control de peso. Esto se debe a que su elevada proporción de proteínas y fibra genera un efecto saciante, lo cual reduce el apetito y ayuda a regular la ingesta calórica.

Desde el enfoque agronómico, el amaranto destaca por su notable capacidad de adaptación, tanto a distintos tipos de suelos, incluso entornos complicados. Como menciona Rangel (2024), esta característica lo vuelve una opción valiosa para mejorar la seguridad alimentaria, sobre todo en aquellas regiones donde los recursos son escasos.

Vicacundo y Cano (2022) también observan la importancia de seguir investigando las propiedades bioactivas de las semillas de amaranto, además proponen ampliar el uso de estas en la industria alimentaria, con la finalidad de aprovechar mejor sus cualidades nutricionales y sus beneficios en la prevención de enfermedades.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Amaranto

Conocido como ataco, sangorache verde, kiwicha, quinua de castilla, quelite en Ecuador, su nombre científico es *Amaranthus caudatus*, es un cultivo nativo de los Andes que posee notables características agronómicas y nutricionales, es una materia prima nutritiva y adaptable que se cultiva en el país desde hace siglo (Rodríguez et al., 2022).

Desde 1982, el término “amaranto” se utiliza con frecuencia en la agricultura ecuatoriana, este es perteneciente a la familia de las amarantáceas. El amaranto no tiene factores organolépticos negativos y puede ser una excelente opción de producción y alimentación. En la actualidad se encuentra en toda la zona tropical del mundo y en muchas áreas templadas. El cultivo del amaranto no es común en Ecuador, a pesar de que existen varias especies de esta planta que crecen como plantas ornamentales o malezas entre los cultivos (Peralta, 2009).

Taxonomía

La clasificación taxonómica del *Amaranthus caudatus*, una especie vegetal de gran relevancia nutricional y agroindustrial, esta estructura taxonómica es fundamental para su identificación científica, su diferenciación de otras especies y el estudio de sus propiedades funcionales en el ámbito alimentario, la misma que se indica en la tabla 1.

Tabla 1*Taxonomía del Amaranthus caudatus*

Nivel Taxonómico	Clasificación
Dominio	Eukaryota
Reino	Plantae
Filo	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida (Dicotyledoneae)
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Género	Amaranthus
Especie	caudatus

Nota. Adaptado de *Base de datos de las especies de Galápagos*, por Galápagos Species Database (s.f.). Fuente: <https://www.darwinfoundation.org/es/datazone/checklist>

Morfología del *Amaranto Caudatus*

Las hojas del amaranto destacan por su textura suave, agradable sabor y un buen perfil nutricional. Estas son una fuente rica en minerales esenciales. Además, contienen vitamina C y A, así como un contenido de fibra dietética.

Las semillas contienen un 14 a un 17% de proteínas, incluyendo aminoácidos esenciales, poco común en otros cereales, también están compuestas por diversos compuestos bioactivos, inhibidores, lectinas y antioxidantes naturales. Algunos de estos compuestos han sido asociados con actividades antihipertensivas, anticancerígenas y refuerzo del sistema inmune (Matías et al., 2018).

Variedades del *Amaranto Caudatus*

El género *Amaranthus* incluye diversas especies que se cultivan tanto por sus granos como por sus hojas. Entre las variedades de grano originarias de América se encuentran *A. caudatus*, *A. cruentus* y *A. hypochondriacus*, algunas especies del género actúan como malezas invasoras, generando problemas en la producción agrícola a nivel mundial (Matías et al., 2018).

- *Amaranthus caudatus*: Se cultiva principalmente en regiones andinas por sus granos comestibles, y en menor medida como planta ornamental en Europa y Norteamérica.
- *Amaranthus cruentus*: Originaria de México y Centroamérica, se utiliza tanto para la obtención de grano como para consumo de sus hojas como hortaliza.
- *Amaranthus hypochondriacus*: Procedente de México, es valorada por su grano en mayor medida (Vásquez, 2020).

Cultivo del Amaranto en Ecuador

En Ecuador, el amaranto se cultiva entre 1800 y 3000 metros sobre el nivel del mar, principalmente en valles interandinos que están libres de heladas. Las condiciones óptimas

para su buen crecimiento incluyen temperaturas entre 18 y 24 grados centígrados, suelos francos arenosos con buen drenaje, alta cantidad de materia orgánica, y un pH que vaya entre 6 a 7,5. La siembra se realiza comúnmente entre diciembre y febrero, se emplea de 6 a 12 kg de semillas por hectárea, dependiendo de la técnica de cultivo que se utilice. El manejo de malezas puede ser manual o por medio de herbicidas selectivos, el riego es esencial en la etapa de floración y llenado del grano en caso de escasez de lluvias (INIAP, s.f.).

Producción Regional del Amaranto

De acuerdo con los datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), existen aproximadamente 50 hectáreas destinadas al cultivo de amaranto en el país. Las provincias con mayor superficie cultivada son: Pichincha, Imbabura y Chimborazo, que en conjunto representan el 93% del área total, el 7% el área entre Loja, Tungurahua y Cotopaxi (Jiménez et al., 2018).

Valor Nutricional del Amaranto

El amaranto es un pseudocereal originario de América, con un perfil nutricional sobresaliente, sus hojas y semillas son ricas en proteínas, minerales y vitaminas, las cuales son fundamentales para una dieta equilibrada. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) es uno de los alimentos vegetales más completos, gracias a su perfil de aminoácidos y a su alto contenido proteico, sumando a sus beneficios nutricionales, el amaranto posee propiedades antioxidantes y antiinflamatorias que lo hacen útil en la prevención de afecciones cardiovasculares y metabólicas, la adaptabilidad de este lo ha convertido en un ingrediente versátil que puede incorporarse en productos como: sopas, pan, cereales, pastas, galletas, snacks, bebidas, todo esto amplía sus posibilidades, a nivel industrial como doméstico (Matías et al., 2018).

Composición

En la tabla 2 se indica la composición del amaranto, donde se destaca su alto contenido proteico, lo cual lo convierte en un alimento con un gran potencial nutricional.

Tabla 2

Composición química

Variables	<i>Amaranthus caudatus</i>
Humedad	11,10%
Cenizas	4,10%
Fibra	2,20%
Grasa	7,70%
Proteína	17,90%
Carbohidratos	57,00%
	100%

Nota. Datos extraídos de *Composición química del amaranto (Amaranthus caudatus)*, por Matías et al., 2018

Usos potenciales del Amaranto

El amaranto posee un uso potencial, en la elaboración de alimentos funcionales, gracias a sus aminoácidos esenciales, minerales, fibra dietética, proteínas de alta calidad.

Una de las aplicaciones más destacadas en la formulación de harinas, las cuales combinadas con otros ingredientes como: sésamo y lentejas, mejora el perfil nutricional del producto final, lo que permite desarrollar mejores alimentos para poblaciones con un bajo valor nutricional (Matías et al., 2018).

2.2.2 Germinación

La germinación es la primera etapa del ciclo de vida de la planta a través de la cual el embrión produce la plántula. Este proceso implica que la semilla salga del letargo y empiece a crecer y desarrollarse hasta convertirse en un nuevo individuo (planta).

El proceso de germinación involucra una serie de eventos metabólicos y morfogénéticos que se desencadenan cuando las condiciones ambientales en las que se encuentra la semilla son favorables para el crecimiento futuro de la plántula (Grudemi, 2022).

Etapas de la Germinación

Pita & Pérez (s.f.) explican en su investigación, que durante la germinación la semilla pasa por etapas, siendo estas:

1. Absorción de agua: Imbibición

La primera etapa ocurre cuando la semilla empieza a absorber agua a través de su cubierta. Esta hidratación activa al embrión y despierta su metabolismo. Las enzimas como las amilasas y proteasas comienzan a trabajar, descomponiendo las reservas almacenadas como almidón, proteínas y lípidos que se encuentran en los cotiledones o el endospermo. Estos compuestos se transformarán en azúcares y aminoácidos que servirán como alimentos para el crecimiento inicial (Pita & Pérez, s.f.).

2. Hinchazón y ruptura de la cubierta:

Cómo la entrada de agua, la semilla se hincha y su cubierta se rompe debido a la presión interna. Esto permite el ingreso de oxígeno, lo cual es esencial para que el embrión realice respiración celular. De acuerdo con Cuadra, en este momento se activan las mitocondrias, que comienzan a producir energía en forma de ATP, vital para la plántula crezca (Cuadra, s.f.).

3. Emergencia de la radícula:

La radícula, que se convertirá en la raíz principal, es lo primero que emerge. Su desarrollo se debe a la división y alargamiento de células en el meristemo radicular, un

proceso en el que participan hormonas como las auxinas. Cuando toca el suelo, empieza a absorber agua y minerales, fundamentales para continuar el desarrollo (Pita & Pérez, s.f.).

4. Salida de la plúmula:

Después de la radícula, la plúmula hace su aparición. Esta parte contiene el tallo y las primeras hojas, durante esta etapa, la planta aún usa las reservas de la semilla para sostenerse, hasta que pueda hacer fotosíntesis por sí sola (Pita & Pérez, s.f.).

Existen varios factores que logran afectar a la germinación de las semillas entre los cuales se pueden mencionar:

- Agua: Las semillas necesitan agua para hincharse y romper la cubierta de la semilla.
- Temperatura: La mayoría de las semillas germinan mejor a temperaturas cálidas.
- Oxígeno: Las semillas necesitan oxígeno para que el embrión respire.
- Luz: Algunas semillas necesitan luz para germinar, mientras que otras no.

Tipos de Germinación

Se distinguen dos tipos de germinación en función de la forma en que crecen los cotiledones. Estos constituyen la hoja embrionaria o primordio foliar.

- Germinación superficial o epigea

En la germinación superficial, los cotiledones emergen del suelo y permanecen en la superficie. Esto se debe al alargamiento del hipocótilo, el eje del embrión que se encuentra entre la radícula y el blastema (extremos opuestos). Cuando permanecen en la superficie, los cotiledones se convierten en los primeros órganos fotosintéticos. Luego, encima de los cotiledones, se desarrollan las primeras hojas verdaderas a partir del epicotíleo. Las cebollas, la lechuga y los frijoles brotan de esta manera (Grudemi, 2022).

- Germinación subterránea o hipogea

En la germinación subterránea, los cotiledones no emergen del suelo, sino que permanecen debajo de la superficie y no se convierten en órganos fotosintéticos. Esto se debe a que los hipocótilos son muy cortos o están ausentes. En este caso, el epicotíleo se alarga y emerge del suelo, produciendo la primera hoja verdadera, que a su vez es el primer órgano fotosintético. El trigo, el maíz, los robles y los guisantes brotan de esta manera (Grudemi, 2022).

Alimentos Germinados

Las semillas comestibles germinadas son cada vez más populares en la dieta humana por sus propiedades terapéuticas. Con el reciente brote de coronavirus, ha aumentado la demanda de alimentos funcionales que puedan mejorar la inmunidad. Las semillas

germinadas de leguminosas eran el principal tipo de germinados consumidos en la dieta humana. (Villamil, 1990) En la actualidad existe una amplia gama de alimentos germinados disponibles a partir de diferentes tipos de semillas, como los brotes de alfalfa, trigo sarraceno, lombarda y brécol, que son populares y se consumen ampliamente en todo el mundo (Brots).

2.2.3 Beneficios de incluir semillas y germinados en la alimentación

El consumo de semillas y germinados ha adquirido relevancia en la nutrición debido a su alto contenido en nutrientes esenciales y a los beneficios que aportan a la salud. Estos alimentos representan una fuente concentrada de vitaminas, minerales, proteínas, fibra y compuestos bioactivos que favorecen diversas funciones del organismo (Aylen, 2021).

Desde una perspectiva digestiva, los germinados contienen enzimas activas que facilitan la descomposición de macronutrientes, mejorando la digestión y absorción de proteínas y carbohidratos. Además, su alto contenido en fibra contribuye al buen funcionamiento intestinal y ayuda en la prevención del estreñimiento y otros trastornos digestivos (Valls J. , 2021).

Los compuestos bioactivos presentes en los germinados, como los antioxidantes y polifenoles, desempeñan un papel importante en la prevención de afecciones cardiovasculares y metabólicas, incluyendo trastornos cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. Estas propiedades se deben a su capacidad para reducir el estrés oxidativo y la inflamación en el cuerpo.

Por otro lado, el consumo de semillas y germinados es una opción sostenible y accesible, ya que su cultivo requiere pocos recursos y puede realizarse fácilmente en casa sin la necesidad de grandes inversiones. Su versatilidad en la cocina los convierte en ingredientes ideales para ensaladas, batidos, panes y otros platillos, contribuyendo a una alimentación variada y equilibrada (Villegas & Ruiz, 2024).

Ventajas del Consumo de germinados

- Mayor aporte de proteínas y aminoácidos esenciales: Cuando las semillas germinan, se activan enzimas que transforman las proteínas almacenadas, lo que mejora la calidad nutricional del alimento (López et al., 2014).
- Alto contenido de fibra dietética: Durante el proceso de germinación, las semillas desarrollan más fibra insoluble, lo que ayuda a tener una mejor digestión, previene el estreñimiento y favorece el equilibrio de las bacterias buenas en el intestino (Escudero & González, 2006).
- Propiedades antioxidantes y antiinflamatorias: Al germinar, las semillas incrementan su contenido de compuestos antioxidantes, lo que contribuye a disminuir el daño

celular y a reducir la inflamación, ayudando en la inflamación de enfermedades como las cardiovasculares o el metabolismo (Morales, 2020).

- Fortalecimiento del sistema inmunológico: Gracias a su alto contenido de vitaminas como la C y la E, los germinados pueden mejorar las defensas naturales del organismo y mejorar la respuesta frente a infecciones o enfermedades (Vilcacundo & Cano, 2022).

Desventajas y Precauciones del consumo de germinados

- Riesgo de contaminación microbiana: El ambiente húmedo que necesitan las semillas para la germinación puede facilitar la aparición de bacterias dañinas como *Salmonella* o *Echerichia coli*. Por eso, es fundamental seguir medidas de higiene rigurosas durante su preparación y conservación (Morales, 2020).
- Vida útil corta: Los germinados contienen bastante humedad, lo que hace que se descompongan con facilidad. Por ello, suelen tener un tiempo de conservación más corto que las semillas secas (Sicairos, 2023).
- Posibles reacciones alérgicas: Algunas personas pueden presentar reacciones alérgicas al consumir germinados, sobre todo si tiene intolerancias a ciertas legumbre o cereales. Es importante tener precaución si se incluyen por primera vez en la dieta (Escudero & González, 2006).

Alimentos Funcionales

Son los que, ya sean naturales o procesados, poseen componentes bioactivos capaces de producir ventajas para la salud al ser consumidos en cantidades apropiadas. Estos compuestos tienen actividad biológica, permitiéndoles funcionar como antioxidantes, protectores del sistema cardiovascular y agentes preventivos frente a varias afecciones cardiovasculares y metabólicas.

La principal función de la dieta es suministrar los nutrientes indispensables para el metabolismo, sin embargo, los alimentos funcionales superan estos límites, pues tienen la capacidad de disminuir el peligro de enfermedades inflamatorias y crónicas, tales como la diabetes tipo 2, afecciones cardiovasculares y algunos tipos de cáncer. Dentro de las fuentes principales de compuestos bioactivos se incluyen frutas, vegetales, legumbres, cereales y semillas. Estos productos contienen antioxidantes como la vitamina C, carotenoides, y polifenoles, esenciales para la salud (Fuentes, Acevedo, & Gelvez, 2015).

Germinados como alimentos funcionales

Se considera a los germinados como un alimento funcional debido a que, además de su valor nutricional fundamental, proporcionan ventajas extra para la salud, tales como

potenciar la digestión, robustecer el sistema inmunológico y disminuir la probabilidad de padecer afecciones cardiovasculares y metabólicas.

Esto se atribuye a su elevado contenido de enzimas, antioxidantes, fibra, proteína, que potencias su biodisponibilidad y simplifican su asimilación en el cuerpo. La germinación aumenta la producción de compuestos bioactivos, con características antioxidantes lo que favorece la prevención de afecciones cardiovasculares y metabólicas (Sarmiento & Pachari, 2022).

Adicionalmente investigaciones han evidenciado que los germinados tienen potencial de potenciar la digestión al disminuir los anti nutrientes que obstaculizan la asimilación de minerales vitales (Escudero & González, 2006).

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3.1 Tipo de Investigación.

La investigación propuesta es de tipo descriptivo experimental ya que se ocupa de medir y analizar aspectos específicos del tema, en las semillas de amaranto.

3.2 Diseño Experimental

El presente estudio empleó un enfoque experimental dirigido a evaluar el proceso de germinación de semillas de *Amaranthus caudatus*, mediante la aplicación de diferentes procedimientos, se evaluaron varios métodos de germinación para determinar cuál es el más eficiente. Los métodos empleados incluyeron la germinación en papel de cocina húmedo, gasa y algodón.

- Germinación en papel de cocina húmedo: Elegido por su capacidad de retención de humedad y debido a la textura de este favorece a la distribución de agua.
- Germinación en algodón: Seleccionado por su capacidad de absorber y liberar agua lentamente, lo que permite un suministro constante de humedad.
- Germinación en gasa: Permite un mayor contacto con el aire, condiciones de germinación más ventiladas.

3.2.1 Procedimiento utilizado para germinar las semillas

Primero para todos los procedimientos, se seleccionaron las semillas de amaranto, asegurándose que estuvieran limpias y en buen estado, eliminando cualquier tipo de residuos.

Cada uno de los sustratos, se cortaron en piezas iguales y colocado dentro de vasos de precipitación limpios. Luego se humedeció cada sustrato con una cantidad estandarizada de agua, para garantizar que todos estuvieran en las mismas condiciones.

A) Germinación en papel de cocina húmedo

Noya (2023) utiliza este procedimiento como una alternativa sencilla y efectiva para la germinación de semillas, destacando su capacidad para mantener una humedad uniforme y promover un desarrollo homogéneo.

Se empleó el papel de cocina como sustrato para la germinación iniciando el procedimiento humedeciendo los granos de amaranto, sumergiendo estas durante 12 horas, para estimular la absorción de agua y el inicio de la actividad de brotación.

Las semillas se dispersaron uniformemente sobre una capa de papel de cocina humedecido, situada dentro de un recipiente de vidrio, para mantener la humedad se cubrió con otra capa de papel de cocina húmedo.

El recipiente se mantuvo en un lugar con una temperatura ambiente, con luz indirecta del sol.

La rutina de mantenimiento implicó humedecer constantemente el papel, rociando agua cuatro veces al día, garantizando un entorno óptimo para la germinación.

Se mantuvo una vigilancia continua para evaluar el estado de las semillas y eliminar aquellas que representen síntomas de impurezas.

Con este procedimiento hay que tener en cuenta que la germinación en papel de cocina debe ser más recurrentes, al igual que la vigilancia en cuanto a impurezas que se van presentando a lo largo de la germinación.

B) Germinación en gasa

Tapia (2022) describe este método como una opción adecuada para la germinación de semillas debido a la permeabilidad y ligereza de la gasa, lo que permite un adecuado flujo de aire y humedad.

En este procedimiento, la gasa sirvió como medio para el brote de granos de amaranto.

La fase inicial consistió en humedecer las semillas, sumergiéndolas en agua durante 12 horas. Esto permite que las semillas absorban humedad, lo cual desencadena su actividad metabólica primaria.

Después de esto, las semillas se dispersan uniformemente sobre la gasa húmeda, al ser una sustancia permeable y liviana, permite el flujo adecuado de humedad y ventilación, propiciando un ambiente adecuado para los brotes.

El recipiente se cubrió con una tela de gasa humedecida, el cual actúa para preservar la humedad sin inhibir completamente el flujo de aire. El recipiente se colocó en un área cálida, con iluminación difusa alejada de la luz solar directa, para evitar la deshidratación.

Para mantener la humedad adecuada, se dispersó agua cuatro veces al día.

Las semillas fueron examinadas diariamente, siguiendo su avance y eliminando aquellas que presentan daños.

C) Germinación en algodón

Estrada (2021) señala que el uso de algodón como sustrato de germinación es altamente eficiente debido a su capacidad de retener humedad y proporcionar un ambiente estable para el crecimiento de las plántulas.

Este método permite una mejor absorción de agua sin riesgo de encharcamiento, favoreciendo el desarrollo saludable de las semillas.

Para este procedimiento, el primer paso consistió en realizar la hidratación de las semillas, sumergiéndolas en agua durante 12 horas para promover su inhibición y activar los procesos germinativos. (Cayambe, 2024)

Posteriormente, se dispusieron las semillas de manera uniforme sobre el algodón previamente humedecido en el recipiente de vidrio, asegurándose de evitar una superposición lo cual puede dificultar la germinación. Para mantener las condiciones de humedad necesarias, se cubrió el recipiente con una capa de algodón humedecido. Este

elemento funcionó como una barrera para pérdida de humedad, sin impedir la circulación de aire.

El recipiente fue ubicado en un espacio con temperatura ambiente y luminosidad indirecta, evitando la exposición a la luz solar directa para prevenir el sobrecalentamiento y el daño a los brotes.

El mantenimiento de la humedad se llevó a cabo mediante la dispersión de agua sobre el algodón cuatro veces al día, asegurando que las semillas estuvieran constantemente hidratadas. Se realizó una observación diaria de las semillas para monitorear su progreso, retirando aquellos brotes que presenten signos de pudrición.

Las condiciones experimentales, utilizadas durante el proceso de germinación de *Amaranthus caudatus*, incluyendo la preparación de las semillas, el tiempo de hidratación, las condiciones ambientales y las observaciones registradas en cada etapa, se registran en la tabla 3.

Tabla 3

Proceso de germinación

Proceso	Condiciones	Observación
Preparación de las semillas	Lavado con agua corriente	Semillas limpias, sin residuos
Hidratación	12 horas en agua a temperatura ambiente	Semillas un poco hinchadas después de 8 horas.
Variables de Germinación	Luz natural indirecta, temperatura Ambiental (entre 22 a 25 °C)	

En la tabla 4 se evidencia la comparación cualitativa del proceso de germinación de *Amaranthus caudatus* en tres tipos de sustrato (papel, gasa y algodón), indicando el tiempo requerido y las observaciones relacionadas con uniformidad, humedad y facilidad de extracción.

Tabla 4

Observaciones durante el proceso de germinación

Material	Tiempo de germinación (días)	Observaciones
Recipiente de vidrio con papel de cocina	8	Buena germinación, pero se encontraron más semillas germinadas solo en las paredes del recipiente las semillas del centro

		<p>presentaban radículas muy delgadas. Aunque el papel ofrece una superficie estable, su capacidad de retención hídrica es limitada y se seca más rápidamente que el algodón. Esto puede provocar fluctuaciones de humedad que ralentizan la imbibición y provocan una germinación desigual.</p>
Recipiente de vidrio con gasa	6	<p>La estructura de la gasa, al ser más abierta, permite mayor ventilación, lo cual puede ser favorable, sin embargo, en este caso generó una menor retención de humedad, lo que explica el desarrollo más limitado de las plántulas. La germinación fue muy tardada y la gasa dificultó la extracción de las semillas germinadas</p>
Recipiente de vidrio con algodón	5	<p>Germinación muy rápida, radículas sensorialmente buenas, radículas fuertes en el 90% de la superficie. La humedad constante y uniforme permitió que casi todas las semillas germinaran al mismo tiempo, lo que se traduce en mayor biomasa disponible para análisis posteriores.</p>

3.2.2 Procedimiento utilizado para los análisis fisicoquímicos

A) Determinación de Humedad

1. Los crisoles se tararon en una mufla a 105 °C, esto durante quince minutos.

2. Se retiran los crisoles utilizando pinzas y dejando enfriar en un desecador hasta alcanzar una temperatura ambiente.
3. Se pesaron los crisoles en una balanza analítica de precisión, y añadir en cada uno 1 gramo aproximadamente, de la muestra, repetir el proceso con tres replicaciones para semillas germinadas y tres para semillas no germinadas.
4. Se llevaron las muestras a una estufa precalentada a 105 °C, donde permanecieron hasta alcanzar un peso constante.
5. Los crisoles se retiran de la estufa con el uso de pinzas y dejar enfriar en un desecador.
6. Peso final, para determinar la pérdida.

Masson (s.f.) utiliza este procedimiento, para cuantificar el contenido humedad, mediante el método de secado en estufa, utilizado para muestras agroindustriales, este procedimiento permite obtener mediciones precisas, asegurando resultados confiables en la determinación de humedad.

B) Determinación de Cenizas

1. Las muestras obtenidas del análisis de humedad, transferir a un horno de incineración, precalentado entre 550 a 600 °C.
2. Incinerar las muestras durante varias horas y estar al pendiente hasta que se forme un residuo blanco o gris claro.
3. Se retiraron los crisoles del horno y se dejó enfriar en un desecador.
4. Una vez que los crisoles están a temperatura ambiente, pesar nuevamente haciendo uno de una balanza analítica.

Sigua (2014) describe la determinación de cenizas como un método estándar para evaluar el contenido mineral de una muestra. Este análisis implica la incineración de la muestra, a altas temperaturas, hasta que la materia orgánica se elimina por completo y queda únicamente el residuo mineral.

C) Determinación de Grasa

1. Se prepararon pequeños envases de papel filtro y se llenaron con una cantidad representativa de semillas germinadas, preparando envases iguales para las muestras de semillas no germinadas.
2. Se colocaron las muestras en un extractor Soxhlet, con el matraz del extractor se llenó con hexano utilizado como solvente lipofílico.
3. El sistema de calentamiento se ajustó para permitir la extracción continua de lípidos, se dejó en el extractor durante cuatro horas.
4. Una vez completada la extracción, se retiró el matraz del extractor y se recuperó el solvente filtrándolo en un matraz.
5. Las muestras se colocaron en una estufa durante 15 minutos para eliminar cualquier exceso de solvente
6. Pesar utilizando una balanza analítica.

Viresa (2021) empleó este procedimiento para la extracción de gasa en semillas de amaranto mediante el método Soxhlet, utilizando hexano como solvente y ajustando el sistema de calentamiento para permitir la extracción continua de lípidos.

D) Determinación de Fibra

Cerro (2019) emplea este procedimiento para cuantificar la fibra en alimentos mediante digestión química con ácidos y bases.

1. Se midieron 98,75 ml de agua destilada y se vertieron en un vaso de precipitado de 100 ml. Luego, se añadieron 1,25 ml de ácido sulfúrico al 98% utilizando una pipeta, mezclando suavemente hasta completar la disolución.
2. Solución de Hidróxido de Sodio: Se midieron 100 ml de agua destilada en un vaso de precipitado de 100 ml y se añadieron 1,25 g de hidróxido de sodio, mezclando hasta disolver completamente.
3. Las muestras se colocaron en vasos de precipitado y se vertió sobre ellas la solución de ácido sulfúrico. Se llevaron al equipo de extracción de fibra durante 30 minutos.
4. Después del tratamiento con ácido, las muestras se dejaron enfriar y se añadió la solución de hidróxido de sodio, repitiendo el proceso de extracción por otros 30 minutos.
5. La mezcla se filtró a través de un crisol Buchner con una base de fibra de vidrio para separar los residuos insolubles (fibra). Esta filtración paso a un matraz Erlenmeyer de 250ml. Los residuos se lavaron completamente con agua destilada.
6. Los residuos de fibra se secaron en una estufa y se pesaron utilizando una balanza analítica.

E) Determinación de Proteína

Jiménez (2022) explica que la determinación de proteína mediante el método de Kjeldahl es una técnica confiable para medir el contenido de nitrógeno en muestras alimentarias.

1. Se pesó 0,1 gramo de semillas de amaranto germinadas y sin germinar (hacer lo mismo tres veces para sus respectivas repeticiones).
2. En los tubos del equipo Kjeldahl se colocaron cada una de las muestras, para luego añadir el catalizador en pastilla, y agregar 10 ml de agua destilada a cada tubo.
3. Utilizando un Erlenmeyer por cada muestra en los cuales se colocaron 50 ml de ácido bórico y se añadieron 3 gotas del indicador Tashiro.
4. El equipo Kjeldahl funcionando por una hora.
5. Se traspasa cada tubo a la otra parte del equipo, que estará conectada a través de mangueras con hidróxido de sodio y agua destilada.
6. Cada tubo se vació inmediatamente después de haber sido procesado y titular el matraz con ácido clorhídrico utilizando una pipeta, hasta que adquiera una coloración ligeramente lila.

F) Determinación de Almidón

Aragón (s.f.) utiliza este procedimiento para cuantificar la presencia de almidón en alimentos mediante un método basado en la reacción con yodo.

1. Se molió en un mortero las semillas germinadas hasta obtener un polvo homogéneo. Pesa 1 gramo de este polvo y transfíerelo a un vaso de precipitados. Añade 15 ml de agua destilada.
2. El procedimiento anterior se repitió con semillas no germinadas, realizando tres repeticiones para cada tipo de semilla.
3. Se llevó cada mezcla hasta el punto de ebullición durante 2 minutos. Luego, se dejó enfriar a temperatura ambiente.
4. Se peso 0.5 gramos de yoduro de potasio (KI) y disolvió en 5 ml de agua destilada.
5. Se peso 1 gramo de yodo metálico (I₂) y se disolvió en la mezcla anterior.
6. El volumen de la solución se completó hasta 100 ml con agua destilada en un matraz aforado.
7. Procedimiento para la Identificación de Almidón:
8. Adición de Lugol: Utiliza un gotero para añadir la solución de Lugol, gota a gota, a cada una de las muestras hasta observar un cambio de coloración.

3.2.3 Instrumentos

Relación de materiales, equipos, instrumentos, reactivos e insumos utilizados en el desarrollo experimental, incluyendo la materia prima: semillas de *Amaranthus caudatus* en estado germinado y no germinado, presentado en la tabla 5.

Tabla 5

Instrumentos, equipos, reactivos, materia prima

Material	Equipo Instrumento	Reactivo e Insumos	Materia Prima
Crisoles	Mufla	Hexano	Amaranto germinado
Pinzas	Estufa	Agua destilada pH 5,8 grado alimenticio	Amaranto no germinado
Papel filtro	Desecador	Yodo Metalizado	
Vasos de vidrio precipitado (100 ml)	Balanza analítica	Yoduro de Sodio	

Vasos de precipitación de 10	Equipo Soxhlet	extractor	Ácido Bórico
Pipeta graduada de vidrio (10 ml)	Equipo fibra	extractor de	Hidróxido de Sodio
Fibra de vidrio	Equipo Kjeldahl		Ácido Clorhídrico
Barillas de agitación			Ácido Sulfúrico
Probeta de vidrio medición cilíndrico (100 ml)			Tashiro
Matraces (250 ml)			
Espátula con cuchara estándar de acero inoxidable			
Cajas Petri			
Gotero			
Manguera			

3.3 Técnicas de recolección de datos

En la tabla 6 se indica la descripción de las variables fisicoquímicas analizadas en *Amaranthus caudatus*, según criterios definidos por distintos autores. Las referencias permiten contextualizar el objetivo de cada análisis realizado.

Tabla 6*Recolección de datos*

Variable	Descripción
Humedad	Determino la cantidad de agua presente en el amaranto caudatus (Enrique & Leonel, 2010).
Cenizas	Determino el contenido de minerales en el amaranto caudatus (Mason, 2016).
Grasa	Determino el valor nutricional del amaranto caudatus desde el punto de vista calórico (Parra, 2021).
Fibra	Determino la fibra dietética insoluble o soluble del amaranto caudatus (Carbajal, 2016).
Proteína	Determino el contenido de nitrógeno en el amaranto caudatus (Garcia, 2020).
Almidón	Determino la organización y la morfología cristalina del amaranto caudatus (Virraoel, 2018).

3.4 Población de estudio y tamaño de muestra

Para los análisis fisicoquímicos: se utilizaron 500 gramos de amaranto germinado y 500 gramos de semilla de amaranto no germinado.

Las semillas fueron adquiridas en un empaque sellado, lo que asegura que se mantuvieron en condiciones óptimas de conservación, su calidad para adquirirlas se verificó mediante una inspección visual y táctil, según los datos analizados, se observa que cumplían con las características propias de estas semillas, tales como: tamaño pequeño y redondo, color beige uniforme y una textura dura al tacto.

Estas cualidades son indicativas de que la semilla es fresca y es apta tanto para el consumo como para un uso experimental.

3.5 Hipótesis

El proceso de germinación, influenciado por el tipo de sustrato, modifica de manera significativa las propiedades fisicoquímicas de las semillas de Amaranto, mejorando su contenido nutricional.

3.6 Procesamiento de datos.

Los datos obtenidos en el laboratorio fueron registrados inicialmente en una bitácora, luego estos fueron transcritos a hojas de cálculo de Excel, para su mejor organización. Seguido se realizó el análisis estadístico empleando el analysis of variance (ANOVA) de un factor, seguido de la prueba de Tukey.

Codificación

La tabla 7 indica la codificación empleada para identificar los tratamientos de semillas germinadas (SG) y no germinadas (SNG), junto con sus respectivas repeticiones experimentales (M1, M2, M3).

Tabla 7

Codificación

	Codificación	Repeticiones		
Semillas Germinadas	SG	M1	M2	M3
Semillas No Germinadas	SNG	M1	M2	M3

3.7 Métodos de Análisis

Los datos numéricos fueron recopilados y analizados mediante métodos estadísticos para mediar variables y fundamentar los resultados, siguiendo un enfoque estructurado y sistemático que permitió predecir resultados y generar conclusiones objetivas basadas en esta evidencia estadística (Investigalia, 2019).

Se aplicó el análisis ANOVA de un factor como método paramétrico para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos evaluados, este análisis se pudo hacer ya que los datos cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (ANOVA, s.f.).

También se aplicó la prueba de Tukey, para identificar específicamente entre qué grupos se presentaban diferencias significativas, utilizando un nivel de significancia 5% ($p < 0,05$). Estas pruebas permitieron sustentar con objetividad los resultados obtenidos (Minitab, s.f.).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de datos se utilizaron los programas estadísticos INFOSTAT y Excel, para los análisis de variancia y la prueba de ANOVA y Tukey.

En este estudio, se evaluó el impacto de tres sustratos (algodón, gasa y papel) en la composición fisicoquímica del amaranto germinado con el objetivo de determinar cuál proporciona las mejores condiciones para mejorar su calidad nutricional.

Para analizar si existían diferencias estadísticas entre los tratamientos (sustratos), se aplicó un ANOVA de un factor, siempre que se cumpliera con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los resultados se interpretaron con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$; si el valor p era menor a este umbral, se rechazó la hipótesis nula y se aplicó la prueba post hoc de Tukey para identificar los grupos diferentes.

4.1 Resultados del procedimiento de germinación

Test de Anova para humedad

El valor p obtenido ($p = 0,003$) es menor al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que el tipo de sustrato tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de humedad en las semillas germinadas.

Tabla 8

Test de Anova para humedad

Parámetro	Fuente	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	F	Valor p	Decision
Humedad	Sustrato	25,2283	2	23,3936	0,003	Rechaza la hipótesis nula
	Residual	3,2354	6	-	-	-

Nota. El valor p se interpreta bajo un nivel de significancia del 5%. Si $p < 0,05$, se rechaza la hipótesis nula, indicando diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Test de Tukey para humedad

Análisis de la prueba de Tukey para humedad mostró diferencias estadísticamente significativas en el contenido de humedad entre el sustrato de algodón y los sustratos de gasa y papel, ya que los valores p fueron menores a 0,05 ($p = 0,0191$ y $p = 0,0176$ respectivamente). El tratamiento con algodón presentó la mayor humedad ($16,23 \pm 2,23\%$)

y fue agrupado con la letra A, mientras que gasa y papel, que no difieren entre sí ($p = 0,9971$), comparten la letra B. Esto indica que el sustrato influye en la capacidad de retención de humedad durante la germinación.

Tabla 9

Test de Tukey para humedad

Comparación entre sustratos	Diferencia	p	Media	Significativo
Algodón - Gasa	2,6486	0,0191	Algodón: $16,23 \pm 0,57$	A
Algodón - Papel	2,6872	0,0176	Gasa: $13,59 \pm 1,19$	B
Gasa - Papel	0,0486	0,9971	Papel: $13,54 \pm 0,59$	B

Nota. La columna “p” indica el valor de probabilidad asociado a la diferencia entre grupos; si p es menor a 0,05, la diferencia se considera significativa. La columna “Significancia”, permite confirmar si existe o no una diferencia relevante entre los tratamientos. Las letras (A, B) indican agrupaciones homogéneas: tratamientos que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí.

Test de Anova para cenizas

El análisis de varianza arrojó un valor $p = 0,005$, menor al umbral de significancia de 0,05 lo que permite rechazar la hipótesis nula. Esto demuestra que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de cenizas entre los distintos sustratos utilizados para la germinación.

Tabla 10

Test de Anova para cenizas

Parámetro	Fuente	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	F	Valor p	Decision
Cenizas	Sustrato	1,4041	2	15,0034	0,005	Rechaza la hipótesis nula
	Residual	0,2804	6	-	-	-

Test de Tukey para cenizas

Análisis de la prueba de Tukey para Cenizas (Tabla 11). Los resultados indican diferencias significativas entre el sustrato de algodón y los otros dos tratamientos (gasa y papel), con valores p de 0,0092 y 0,0058 respectivamente. El contenido de cenizas fue mayor en el tratamiento con algodón ($4,54 \pm 0,98\%$), agrupado con la letra A, mientras que gasa y papel (que no difieren entre sí, $p = 0,9566$) pertenecen al grupo B. Esto sugiere que el algodón permitió una mayor disponibilidad o retención de minerales durante el proceso de germinación.

Tabla 11

Test de Tukey para cenizas

Comparación entre sustratos	Diferencia	p	Media	Significativo
Algodón - Gasa	1,7315	0,0092	Algodón: $4,54 \pm 0,49$	A
Algodón - Papel	1,8948	0,0058	Gasa: $4,78 \pm 0,66$	B
Gasa - Papel	0,1633	0,9566	Papel: $4,62 \pm 0,53$	B

Test de Anova para grasa

En este caso, el valor $p = 0,031$ fue menor al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de grasa entre los tratamientos con diferentes sustratos.

Tabla 12

Test de Anova para grasa

Parámetro	Fuente	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	F	Valor p	Decision
Grasa	Sustrato	0,6757	2	5,187	0,031	Rechaza la hipótesis nula
	Residual	0,3907	6	-	-	-

Test de Tukey para grasa

La prueba de Tukey reveló diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento con algodón y los tratamientos con gasa y papel. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas entre gasa y papel. Esto indica que el sustrato de algodón presentó un menor contenido de grasa y pertenece a un grupo diferente (letra A), mientras que gasa y papel comparten la letra B, al no diferenciarse significativamente entre sí.

Tabla 13

Test de Tukey para grasa

Comparación entre sustratos	Diferencia	p	Media	Significativo
Algodón - Gasa	0,60	0,0472	Algodón: 3,38 ± 0,36	A
Algodón - Papel	0,63	0,0399	Gasa: 3,98 ± 0,77	B
Gasa - Papel	0,03	0,9566	Papel: 4,01 ± 0,10	B

Test de Anova para fibra

El resultado del ANOVA muestra un valor $p = 0,033$, el cual es menor a 0,05. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula, indicando que el tipo de sustrato tiene un efecto significativo sobre el contenido de fibra en las semillas germinadas.

Tabla 14

Test de Anova para fibra

Parámetro	Fuente	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	F	Valor p	Decision
Fibra	Sustrato	3,6439	2	6,2623	0,033	Rechaza la hipótesis nula
	Residual	1,7469	6	-	-	-

Test de Tukey para fibra

Análisis de la prueba de Tukey para Fibra (Tabla 15). El análisis mostró una diferencia significativa entre el tratamiento con algodón y el papel ($p = 0,0296$), mientras que la diferencia entre algodón y gasa fue cercana al umbral de significancia ($p = 0,0564$). Gasa y

papel no mostraron diferencias entre sí ($p = 0,9093$). El mayor contenido de fibra se presentó en el tratamiento con algodón ($13,44 \pm 2,58\%$), agrupado con la letra A, mientras que papel fue asignado a la letra B. Estos resultados sugieren que el algodón favorece un mayor desarrollo estructural de la plántula, reflejado en el aumento de fibra.

Tabla 15

Test de Tukey para fibra

Comparación entre sustratos	Diferencia	p	Media	Significativo
Algodón - Gasa	1,2117	0,0564	Algodón: $13,44 \pm 0,62$	A
Algodón - Papel	1,4074	0,0296	Gasa: $9,23 \pm 0,86$	B
Gasa - Papel	0,1956	0,9093	Papel: $8,18 \pm 0,93$	B

Test de Anova para proteína

El análisis de varianza resultó en un valor $p = 0,0173$, el cual es menor al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), permitiendo rechazar la hipótesis nula. Esto confirma que el tipo de sustrato influye de forma estadísticamente significativa en el contenido de proteína de las semillas germinadas.

Tabla 16

Test de Anova para proteína

Parámetro	Fuente	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	F	Valor p	Decision
Proteína	Sustrato	22,0914	2	8,6627	0,017	Rechaza la hipótesis nula
	Residual	7,6393	6	-	-	-

Test de Tukey para proteína

Análisis de la prueba de Tukey para Proteína (Tabla 17). Se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento con algodón y los otros dos sustratos (gasa y papel), con valores p de 0,0205 y 0,0188, respectivamente. Gasa y papel no difieren entre sí ($p = 0,9968$), por lo que comparten la letra B. El tratamiento con algodón presentó el mayor contenido de proteína ($20,02 \pm 2,22\%$) y fue clasificado en el grupo A. Esto

respalda la hipótesis de que el tipo de sustrato puede influir en la síntesis o disponibilidad de proteínas durante la germinación.

Tabla 17

Test de Tukey para proteína

Comparación entre sustratos	Diferencia	p	Media	Significativo
Algodón - Gasa	2,4235	0,0205	Algodón: 20,02 ± 0,86	A
Algodón - Papel	2,4721	0,0188	Gasa: 19,09 ± 1,18	B
Gasa - Papel	0,0486	0,9968	Papel: 18,69 ± 1,11	B

Se aplicó un procedimiento experimental con tres tipos de sustratos: papel de cocina húmedo, gasa y algodón. Las condiciones controladas que se emplearon de temperatura, humedad y luz, permitieron evaluar el comportamiento de germinación en cada uno de ellos.

Se observó que el sustrato de algodón promovió una germinación más rápida, uniforme, y radículas más robustas, en comparación con los demás sustratos, por otro lado, la gasa presentó dificultad en la extracción de las semillas y un retraso en la germinación, mientras tanto el papel húmedo de cocina mostró germinación desigual y radículas muy delgadas.

Estos resultados permitieron establecer que el algodón es el sustrato más adecuado para optimizar el proceso de germinación del *Amaranthus caudatus*.

Análisis de parámetros fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos realizados en las semillas de *Amaranthus caudatus* evidenciaron diferencias significativas en varios de sus parámetros nutricionales. La comparación entre los diferentes tratamientos aplicados durante la germinación reveló variaciones notables, particularmente en el contenido de proteína y fibra. Estos resultados indican que la germinación mejora el perfil nutricional del amaranto, posicionándolo como una fuente alimentaria de mayor valor funcional. A continuación, se detallan los aspectos más relevantes de estos hallazgos.

Para validar la significancia estadística de las diferencias observadas, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor, seguido de la prueba post hoc de Tukey para identificar qué tratamientos presentaban diferencias específicas. Ambas pruebas confirmaron que las variaciones en la composición nutricional son estadísticamente significativas

Análisis del contenido de humedad

El contenido de humedad aumentó significativamente tras la germinación, pasando de 10,74% en las semillas no germinadas a 16,23% en las germinadas. Este incremento es inherente al proceso de germinación, ya que la absorción de agua (imbibición) es el primer paso esencial para activar las enzimas metabólicas que permiten el inicio del desarrollo embrionario. La presencia de agua favorece la reestructuración celular y desencadena múltiples rutas metabólicas necesarias para el crecimiento de la plántula. Este comportamiento ha sido descrito también por Mendoza (2024), quien señala que la humidificación inicial activa enzimas hidrolíticas claves para la movilización de reservas.

Tabla 18

Análisis de humedad

HUMEDAD	
Semilla Germinada	
	% de Humedad
M1	16,0235
M2	15,8047
M3	16,8752
	16,2345
Semilla No Germinada	
	% de Humedad
M1	10,5878
M2	11,6056
M3	10,0273
	10,74025

Porcentaje de humedad en semillas germinadas y no germinadas de *Amaranthus caudatus* (n = 3 por tratamiento).

Análisis del contenido de cenizas

Se observó un aumento significativo en el contenido de cenizas de 2,88% en las semillas no germinadas a 4,54% en las germinadas. Este resultado puede explicarse por una mayor biodisponibilidad de minerales derivada de la degradación de compuestos antinutrientes, como los fitatos, presentes en la semilla en estado latente. Durante la germinación, se activan enzimas como las fitasas, que hidrolizan los complejos de ácido fítico, liberando minerales como calcio, hierro, zinc y magnesio. Además, la movilización de nutrientes hacia los tejidos en formación durante el crecimiento embrionario también puede contribuir al incremento en su concentración detectable (Escudero & González, 2006). Esto sugiere que el amaranto germinado no solo mejora su perfil nutricional, sino también su valor funcional como fuente mineral.

Tabla 19*Análisis de cenizas*

CENIZAS	
Semilla Germinada	% de Ceniza
M1	4,1742
M2	4,3476
M3	5,0965
	4,5394
Semilla No Germinada	% de Ceniza
M1	3,9128
M2	2,5411
M3	2,2035
	2,8858

Porcentaje de cenizas en semillas germinadas y no germinadas de *Amaranthus caudatus* (n = 3 por tratamiento).

Análisis del contenido de grasa

Aunque el contenido de grasa disminuyó desde 6,51% en semillas no germinadas hasta 3,38% en las germinadas, esta diferencia fue estadísticamente significativa. Esta tendencia es coherente con lo reportado por Chaparro et al. (2010), quienes destacan que durante la germinación los lípidos son utilizados como fuente primaria de energía para el crecimiento del embrión. Las enzimas lipasas hidrolizan los triglicéridos, liberando ácidos grasos que son oxidados en la mitocondria para sostener el metabolismo inicial de la plántula. Si bien los datos no permiten afirmar con certeza que esta disminución fue causada por el tratamiento, sí se sugiere una transformación metabólica activa del contenido lipídico.

Tabla 20*Análisis de grasa*

GRASA	
Semilla Germinada	% Grasa
M1	3,7122
M2	3,3836
M3	3,0338
	3,3765
Semilla No Germinada	% Grasa
M1	6,0922
M2	6,6032
M3	6,8319
	6,5091

Porcentaje de grasa en semillas germinadas y no germinadas de *Amaranthus caudatus* (n = 3 por tratamiento).

Análisis del contenido de fibra

El contenido de fibra aumentó considerablemente de 6,81% en semillas no germinadas a 13,44% en semillas germinadas. Este incremento se atribuye a la síntesis de polisacáridos estructurales como celulosa y hemicelulosa, fundamentales en la formación y reforzamiento de la pared celular durante el crecimiento de la plántula. Durante la germinación, la actividad enzimática promueve el desarrollo de estructuras insolubles, lo que incrementa el contenido de fibra dietética. Este tipo de fibra, además de tener beneficios nutricionales, mejora la salud intestinal y promueve la saciedad (Matías et al., 2018). El aumento en fibra es una de las mejoras más relevantes del perfil nutricional del amaranto germinado.

Tabla 21

Análisis de fibra

FIBRA	
Semilla Germinada	% de Fibra
M1	12,7226
M2	14,7304
M3	12,8621
	13,4384
Semilla No Germinada	% de Fibra
M1	8,8022
M2	5,3594
M3	6,2577
	6,8064

Porcentaje de fibra en semillas germinadas y no germinadas de *Amaranthus caudatus* (n = 3 por tratamiento).

Análisis del contenido de proteína

El contenido de proteína también mostró un incremento significativo, pasando de 15,39% en semillas no germinadas a 20,02% en las germinadas. Este aumento puede explicarse por varios factores. En primer lugar, la germinación activa la síntesis de nuevas proteínas relacionadas con procesos metabólicos, como enzimas, proteínas transportadoras y estructurales. En segundo lugar, durante la germinación ocurre una degradación parcial de carbohidratos y lípidos, lo cual reduce la masa seca total de la semilla y aumenta proporcionalmente el contenido de proteína. Finalmente, la ruptura de estructuras celulares permite una mayor liberación de proteínas de reserva que previamente estaban encapsuladas o ligadas.. (Guardianelli, Salinas, & Puppo, 2019) Todo ello contribuye a un mayor valor nutricional y funcional del amaranto germinado.

Tabla 22

Análisis de proteína

PROTEÍNA	
Semilla Germinada	% de Proteína
M1	20,0904
M2	20,3590
M3	19,6062
	20,0185
Semilla No Germinada	% de Proteína
M1	14,9937
M2	15,4092
M3	15,7607
	15,3879

Porcentaje de proteína en semillas germinadas y no germinadas de *Amaranthus caudatus* (n = 3 por tratamiento).

Análisis del contenido de almidón

El almidón disminuyó de forma notoria, reduciéndose de un 52,60% en semillas no germinadas a 31,49% en las germinadas. Este descenso se debe a la acción de las enzimas amilasas, que durante la germinación degradan las reservas de almidón en azúcares simples como maltosa y glucosa, los cuales son utilizados como fuente de energía para el desarrollo del embrión. Este proceso es esencial para sostener el metabolismo basal de la plántula en crecimiento, ya que el almidón representa la principal fuente de carbono en las primeras etapas. La disminución observada es consistente con lo reportado por Bernal (2006), quien señala que este cambio es característico de la movilización de reservas en cereales y pseudocereales germinados.

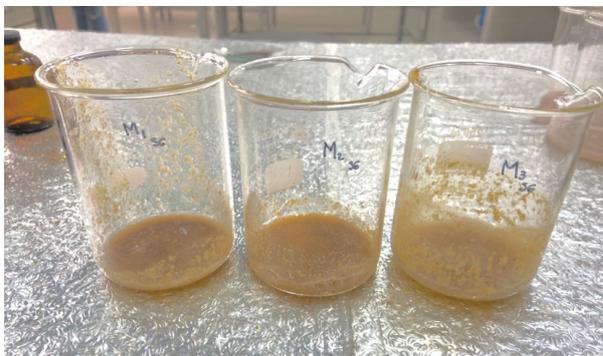
Ilustración 1

Almidón en semillas no germinadas



Ilustración 2

Almidón en semillas germinadas



4.2 Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que el algodón fue el sustrato más eficiente para la germinación de *Amaranthus caudatus*, superando a la gasa y al papel tanto en tasa de germinación como en composición nutricional de las plántulas. Este hallazgo coincide con lo reportado por Mendoza (2024), quien destacó la importancia de la elección del sustrato como factor determinante para una germinación exitosa. Del mismo modo, Escobar et al. (2021) observaron un mejor desarrollo en semillas germinadas en algodón en comparación con otros sustratos. De forma complementaria, Aylen (2021) reportó un incremento en la concentración de proteína y fibra en semillas germinadas sobre algodón, apoyando la relación directa entre el medio físico de germinación y la calidad nutricional resultante.

En cuanto al contenido de humedad, los valores obtenidos en este estudio reflejan un patrón similar al reportado por Mendoza (2024), quien señaló que una mayor retención hídrica durante la germinación favorece la expansión celular y el desarrollo temprano del embrión. La consistencia entre ambos estudios refuerza el valor del amaranto germinado como alimento funcional en etapas de desarrollo inicial.

Respecto al contenido de cenizas, el presente trabajo confirmó un aumento en las semillas germinadas, en concordancia con lo señalado por López Mejía, López Malo y Palou (2014), quienes observaron que la germinación no solo incrementa la concentración de minerales, sino que también mejora su biodisponibilidad. Sin embargo, es importante señalar que en este estudio no se utilizó un medio de cultivo con aporte mineral externo, como tierra o soluciones nutritivas, por lo que no se puede afirmar con certeza que se haya producido un incremento real en el contenido mineral de las semillas. Lo más probable es que el aumento observado se deba a una mayor liberación o disponibilidad de los minerales ya presentes en la semilla, resultado de la activación enzimática que ocurre durante la germinación. En este sentido, no se trataría de un enriquecimiento mineral en términos absolutos, sino de una mejora en la biodisponibilidad relativa. Esta distinción es fundamental, ya que estudios como los de López Mejía et al. (2014) y Guardianelli (2022) han demostrado que la germinación

puede aumentar la biodisponibilidad de minerales al reducir compuestos antinutrientes como el ácido fítico, lo cual facilita su absorción. No obstante, este efecto depende en gran medida de las condiciones específicas del entorno germinativo, lo que resalta la importancia de considerar estos factores al interpretar los resultados relacionados con el contenido mineral.

Con respecto al contenido de grasa, el cual disminuyó, concuerda con la investigación de, Chaparro(2010) quienes indican que la germinación moviliza las reservas lipídicas para el correcto crecimiento de la plántula. La disminución de grasa analizada en esta investigación es consistente con registros anteriores de otros pseudocereales, al igual que la quinoa como menciona el estudio de Cayambe (2024), el cual indica que la germinación reduce los niveles de grasa debido a la conversión de estos compuestos en fuentes de energía metabólica, este proceso además promueve la generación de lípidos biodisponibles y un perfil lipídico potencialmente más saludable.

El incremento observado en el contenido de fibra concuerda con los hallazgos de Matías et al. (2018), quienes evidenciaron mejoras significativas en la fibra dietética de pseudocereales sometidos a germinación. Esta coincidencia destaca el papel de la germinación como técnica eficaz para mejorar componentes estructurales de valor nutricional, reforzando su aplicación en programas de alimentación funcional.

Respecto al contenido de proteínas, se registró un aumento en semillas germinadas. Este incremento fue estadísticamente significativo. Sin embargo, es importante señalar que el proceso de germinación no implica necesariamente una síntesis neta de nuevas proteínas, sino una reestructuración metabólica que modifica la proporción relativa de los componentes de la semilla. Durante la germinación se activan enzimas proteolíticas que degradan reservas proteicas, y algunas fracciones nitrogenadas se transforman, lo que puede reflejarse en un aumento aparente del contenido proteico. A pesar de este resultado, no se puede afirmar con total certeza que haya una ganancia absoluta de proteína, sino más bien una reorganización en la composición y posiblemente una mayor asimilabilidad de estas. Estudios como el de Guardianelli (2022) respaldan esta interpretación al mencionar que la germinación mejora la digestibilidad y calidad de la proteína más que su cantidad total.

Finalmente, la reducción en el contenido de almidón observada en este estudio coincide con los resultados de Bernal (2006), quien documentó un patrón similar de movilización de carbohidratos en semillas durante la germinación. Esta tendencia ha sido ampliamente reconocida como un proceso esencial para el soporte energético de la plántula, lo que posiciona al amaranto germinado como una matriz con menos almidón y mayor digestibilidad.

En conjunto, los datos aquí presentados respaldan y amplían los hallazgos de la literatura científica existente, demostrando que la germinación no solo incrementa la tasa de éxito del desarrollo inicial, sino que también mejora la calidad nutricional del amaranto. La elección del sustrato, particularmente el algodón, se reafirma como un elemento clave para maximizar estos beneficios.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se estableció un procedimiento de germinación específico para la germinación de la semilla de amaranto, estudiándolas bajo condiciones específicas de humedad, temperatura y luz. Entre los tres sustratos evaluados, el algodón fue en el que se evidenció mejores resultados en cuanto a velocidad, uniformidad y desarrollo de la germinación, lo cual lo posiciona como el mejor medio para optimizar el proceso de germinación, con fines alimentarios y funcionales.
- El análisis comparativo entre el amaranto germinado y no germinado evidenció diferencias significativas en sus propiedades fisicoquímicas. Se observaron incrementos estadísticamente relevantes en el contenido de: humedad, proteína, fibra y cenizas, así como la reducción de grasa y almidón, lo cual mejora su perfil nutricional y respaldan su potencial como alimento funcional.

RECOMENDACIONES

- Dado que el proceso de germinación demostró mejorar significativamente las propiedades fisicoquímicas del amaranto, se recomienda la inclusión de estos germinados en programas de nutrición, teniendo un enfoque especial en contextos de deficiencia alimentaria, esto permitirá aprovechar un alimento de bajo costo y alto propiedades bioactivas para apoyar la nutrición en poblaciones vulnerables.
- Desarrollar futuras investigaciones que enfatizan en los efectos de tiempos de germinación y otras variables ambientales, sobre compuestos bioactivos, flavonoides, antioxidantes, con el fin de ampliar su caracterización como alimento funcional.
- Evaluar la viabilidad económica y tecnológica de escalar la producción de amaranto en la formulación de nuevos productos, como harinas, snacks, suplementos proteicos, lo que contribuirá a la diversificación alimentaria sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

- Raya Pérez, J. C., Gutiérrez Benicio, G. M., Ramírez Pimentel, J. G., Covarrubias Prieto, J., & Aguirre Mancilla, C. L. (1 de Enero de 2014). Caracterización de proteínas y contenido mineral de dos variedades nativas de frijol de México. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 1-11.
- Aguilar Felices, E., & Romero Viacava, M. (Julio - Diciembre de 2018). Actividad antioxidante del germinado de la semilla de cuatro variedades de *Amaranthus caudatus* L. *UNSCH*, 26(2).
- Guardianelli, L., Salinas, M., & Puppo, M. (Diciembre de 2019). Hidratación y propiedades reológicas de la masa de harina de trigo y amaranto: Influencia de la germinación de las semillas de amaranto. *ELSEVIER*, 97.
- Sarmiento Aguilar, W., & Pachari Vera, E. (Diciembre de 2022). Impact of germination on the bioactive compounds of two ecotypes of black and pink kiwicha grains (*Amaranthus caudatus*). *Scielo*, 49(6).
- Lopez Martinez, J., & Ahmad, I. (22 de Enero de 2024). Amaranth seeds: a promising functional ingredient for gastronomy. *Sarhad Journal of Agriculture*, 40(1), 39-53.
- Montoya, A. B. (Julio de 2008). *IPICYT*. Obtenido de <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/764/3/TMIPICYTB3C32008.pdf>
- Robles, M., Baginsky, & Senz. (Octubre de 2017). Amaranto: un cultivo potencial como fuente de compuestos bioactivos en la industria de alimentos. *Latinoamérica*.
- Valls, J. I. (29 de Noviembre de 2021). Beneficios y propiedades del amaranto. *Baviera*.
- Romero Viamonte, K., Sánchez Martínez, B., Vega Falcón, V., & Salvent Tames, A. (12 de Noviembre de 2020). National Status in Adults of Rural Population in a Canton of the Ecuadorian Highlands. *Ciencias de la salud*, 18(1), 52-66.
- OPS. (16 de Mayo de 2023). Obtenido de <https://www.paho.org/es/noticias/16-5-2023-informe-ecuador-mejorando-salud-cardiovascular-desde-comunidades-locales-hasta>
- Gallegos, C. A., Waters, W., Carrasco, A., & Iannotti, L. (30 de Noviembre de 2023). Encuentros impensados en la transición nutricional: Agroecosistemas andinos en la Sierra central Ecuatoriana. *Revista Latinoamericana de Políticas y Acción Pública*, 11(1), 85-117.

- Aylen, A. M. (2021). *Importancia de los germiandos para el consumo humano*. Obtenido de <https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/360e06e6-ea5b-4857-acf2-efbfe71698b6/content>
- Donazzolo, Joel; Possenti, Jean Carlo; Guollo, Karina; Andrigo, Moeses; Belle, Isis;. (13 de Junio de 2017). Germination of amaranth seeds under influence of light, substrate and temperature. *Ciencias Agroveterinarias*, 16(2), 190-194.
- Hernández, B., Peña, V., Torres, N., Espinoza, V., & Ramírez, L. (Junio de 2018). Usos actuales y potenciales del Amaranto . *Journal*, 3(6).
- Lozano, A. M. (6 de Mayo de 2024). *El amaranto: comida ritual y cotidiana*. Obtenido de <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/los-cuerpos-divinos-el-amaranto-comida-ritual-y-cotidiana>
- Mena, H., Pardo, A., Espinosa, I., Zurutuza, A., & Ferri, C. (1 de Febrero de 2023). Efecto en la alimentación. 6(2).
- Cervantes, E. M. (28 de Febrero de 2014). Obtenido de <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/647/3/TDIPICYTM3A62014.pdf>
- Enríquez, R., & Herrera, L. (20 de Agosto de 2020). *Chapingo*, 3(2).
- Bird, N. B. (Julio de 2014). *INTA*. Obtenido de https://images.engormix.com/externalFiles/6_BominllaBird-GuiaTecnica-semillas.pdf
- Palacios, R. R. (Julio - Septiembre de 2000). Efecto de factores físicos sobre la germinación de semillas. *Scielo*, 44(3).
- López Mejía, O. A., López Malo, A., & Palou, E. (Marzo de 2014). Capacidad antioxidante de subproductos de semillas de amaranto. 64(1).
- González, N., González, J. U., Durán, T., Perera, M., & Benítez, M. (2016). *Biotechnologías y Ciencias Agropecuarias*. Obtenido de https://archivos.ujat.mx/2016/div_rios/publicaciones/Biotechnologia-y-Ciencias-Agropecuarias.pdf
- Escudero, E., & González, P. (Mayo de 2006). Fiebra dietética. *SciELO*, 21.
- Guardianelli, L. (2022). Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/135132/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Rangel, E. E. (10 de Marzo de 2024). Obtenido de <https://www.gob.mx/inifap/articulos/amaranto-con-adaptabilidad-a-diversas-condiciones-climaticas?idiom=es>
- Cano Naranjo, E., & Vilcacundo Chamorro, R. (Marzo de 2022). Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b7196e6e-ca33-4c43-806b-8a64de259ec3/content>
- Rodríguez Sampedro, M. A., Zambrano Muñoz, D. M., & Tirira Chulde, F. G. (2022). Determinación de la capacidad fenólica. *Pentaciencias*, 4(4).
- Peralta, E. (Julio de 2009). Amaranto y Ataco. *INIAP*.
- Database, G. S. (s.f.). Base de datos de las especies de galápagos.
- Matías, G., Hernández, B., Peña, V., Torres, N., Espinoza, V., & Ramírez, L. (30 de Abril de 2018). Usos actuales y potenciales del Amaranto. *Journal*, 3(6).
- Vásquez, S. V. (2020). Obtenido de <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/12191/1/UDLA-EC-TIAG-2020-21.pdf>
- INIAP. (s.f.). Obtenido de <https://tecnologia.iniap.gob.ec/amaranto/#:~:text=Amaranthus%20caudatus%20L&text=Es%20cultivado%20entre%20los%201800,18%20a%2024%C>.
- Jiménez, L., Gonzalez, M., Bastidas, M., & Decker, F. (2018). Evaluación del rendimiento de sistemas de siembra y dos variedades de amaranto. *SciELO*, 6(2), 66-75.
- Enrique, M., & Leonel, L. (27 al 29 de Octubre de 2010). *CENAM*. Obtenido de <https://www.cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf>
- Mason, L. (21 de 02 de 2016). *DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y CENIZAS EN ALIMENOS*. Obtenido de DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y CENIZAS EN ALIMENOS: <https://www.achipia.gob.cl/wp-content/uploads/2016/06/3-M--todos-Humedad-Cenizas-Dra.-Lilia-Masson.pdf>
- Parra, K. (01 de 11 de 2021). *DETERMINACIÓN DE GRASAS EN ALIMENTOS MÉTODO SOXHLET Y GOLDFISH*. Obtenido de DETERMINACIÓN DE GRASAS EN ALIMENTOS MÉTODO SOXHLET Y GOLDFISH: https://viresa.com.mx/blog_determinacion_grasas_soxhlet_goldfish
- Carbajal, C. (23 de 02 de 2016). *Determinación del contenido de fibra, grasa y proteína de un alimento nutricional con semillas (lupinus mutabilis, y chenopodium quinoa), en mezcla de (beta vulgaris y cucurbita máxima) y edulcorantes*. Obtenido de Determinación del contenido de fibra, grasa y proteína de un alimento nutricional

con semillas (*lupinus mutabilis*, y *chenopodium quinoa*), en mezcla de (*beta vulgaris* y *cucurbita máxima*) y edulcorantes: <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/1a7f313d-434f-4168-b951-71497b719fe1>

García, E. (2020). Determinación de proteínas de un. *ETSIAMN*, 001-006.

Virraoel, P. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista chilena de nutrición*, 0717-7518.

Sánchez, E. C. (Julio - Septiembre de 2015). *El Amaranto*. Obtenido de https://amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/66_3/PDF/Amaranto.pdf

Grudemi. (18 de Marzo de 2022). Obtenido de <https://enciclopediaiberoamericana.com/germinacion/>

SOCHOB. (s.f.). *Sociedad Chilena de Obesidad*. Obtenido de <https://www.sochob.cl/web/los-fitatos-perjudican-o-protegen/>

López Mejía, O. A., López Malo, A., & Palou, E. (2014). *Capacidad antioxidante de subproductos de semillas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*)*. Obtenido de ScieELO: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222014000100007

Academy, K. (2020). Obtenido de <https://es.khanacademy.org/science/biology/gene-expression-central-dogma/translation-polypeptides/a/trna-and-ribosomes>

Arámburo, T. d. (2011). Obtenido de https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/603/1/PCBP_D_Tesis_2011_Teresita_Celis_Aramburo.pdf

Mendoza, K. F. (Agosto de 2024). *Caracterización nutricional y funcional de la harina precocida de amaranto*. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/4e27c16e-b56b-4e84-9a97-c1c36816ec9f/content>

Aylen, A. M. (2021). Obtenido de <https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/360e06e6-ea5b-4857-acf2-efbfe71698b6/content>

Valls, J. (29 de Noviembre de 2021). *Beneficios y propiedades del amaranto*. Obtenido de Baviera: https://www.clinicabaviera.com/blog/propiedades-del-amaranto-que-debes-conocer/?utm_source=chatgpt.com

- Morales. (2020). *Amaranth Sprouts for Cardiovascular Health*. Obtenido de Journal of Functional Foods: Morales-Pérez, J., et al. (2020). "Amaranth Sprouts for Cardiovascular Health." *Journal of Functional Foods*, 64, 103615.
- Villegas, J., & Ruiz, J. (5 de Septiembre de 2024). Germinados: alimentos nutritivos y caseros. *Ciencia y tecnología*.
- Pita Villamil, J. M., & Pérez García, F. (s.f.). Germinación de semillas.
- Cuadra, C. d. (s.f.). Germinación, latencia y dormición de las semillas. *Hojas Divulgadoras*(3/92).
- Villamil, J. M. (1990). Germinación de Semillas. *Hojas Divulgadoras*.
- Brots. (s.f.). Brotes-germinados.
- Investigalia. (3 de Septiembre de 2019). *Investigalia*. Obtenido de Investigalia: <https://investigaliacr.com/investigacion/investigaciones-cuantitativas-de-tipo-experimental-parte-2/>
- ANOVA. (s.f.). *Jmp*. Obtenido de <https://www.jmp.com/es/statistics-knowledge-portal/one-way-anova>
- Minitab. (s.f.). Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-method/>
- Masson, L. (s.f.). *FAO*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/ah833s/Ah833s16.htm#:~:text=La%20determinaci%20de%20humedad%20es,base%20tal%20como%20se%20recibi%20>
- Sigua, B. M. (2014). Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e8bd5b97-f205-4b7e-bcd6-b34d7ab4fbe2/content>
- Aragón, L. (s.f.). *Prácticas de Laboratorio*. Obtenido de <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/20933/PRÁCTICAS%20DE%20LABORATORIO.pdf>
- Jiménez, A. (3 de Febrero de 2022). Obtenido de <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-de-guayaquil/quimica-analitica-i/informe-5-titulacion-y-determinacion-de-proteina/23614301>
- Cerro, C. H. (11 de Diciembre de 2019). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/512822086/Practica-6-Fibra-Cruda>

- Viresa. (1 de Noviembre de 2021). Obtenido de https://viresa.com.mx/blog_determinacion_grasas_soxhlet_goldfish
- Escudero Álvarez , E., & González Sánchez, P. (2006). *La fibra dietética*. Obtenido de SciELO: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112006000500007
- Vilcacundo Chamorro, R. D., & Cano Naranjo, E. E. (2022). *Valor nutricional y biológico del amaranto variedad Amaranthus Caudatus L. (kiwicha)*. Obtenido de Repositorio Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34924>
- Sicairos, S. (2023). *Amaranto germinado tiene múltiples beneficios en la salud*. Obtenido de <https://dcs.uas.edu.mx/noticias/6104/amaranto-germinado-tiene-multiples-beneficios-en-la-salud>
- Noya, I. V. (26 de Julio de 2023). Obtenido de <https://www.directoalpaladar.com/curso-de-cocina/como-germinar-lentejas-metodo-sencillo-para-hacerlo-casa-no-fallar-intento>
- Tapia, M. (Julio7 de 2022). Obtenido de https://www.cuerpamente.com/alimentacion/como-germinar-semillas_10141
- Estrada, A. S. (4 de Noviembre de 2021). Obtenido de Ciencia y Tecnología: <https://www.ciad.mx/como-germinar-brotes-de-hortalizas-en-casa/>
- Del Toro, C., Ruiz, S., Marquez, E., Uresti, R., & Ramirez, A. (2015). *Alimentos funcionales*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Norma-Flores-Martinez/publication/342601000_Aceites_esenciales_como_antioxidantes_y_antimicrobianos_naturales/links/5efcaecf92851c52d60cc7ee/Aceites-esenciales-como-antioxidantes-y-antimicrobianos-naturales.pdf
- Fuentes, L., Acevedo, D., & Gelvez, V. (2015). Functional foods: Impact and challenges for development. *SciELO*.
- Psmag, Chaparro, D., Elizalde, A., Vivas, N., & Erazo, C. (Enero - Junio de 2010). Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto. *SciELO*, 8(1).
- Cayambe, F. (2024). *Caracterización del germinado de quinua*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/13324>

ANEXOS

Análisis Físicoquímicos en el sustrato de algodón

Análisis de humedad

Tabla 23

Datos para el análisis de humedad

HUMEDAD				
Semilla Germinada				
	Peso crisol			
	vacío	Peso crisol más muestra	Peso crisol muestra seca	% de Humedad
M1	25,1421	26,1450	25,9843	16,0235
M2	13,6172	14,9282	14,7210	15,8047
M3	28,6747	29,7135	29,5382	16,8752
				16,2345
Semilla No Germinada				
	Peso crisol			
	vacío	Peso crisol más muestra	Peso crisol muestra seca	
M1	57,6219	58,8365	58,7079	10,5878
M2	50,2480	51,8972	51,7058	11,6056
M3	57,4956	58,5218	58,4189	10,0273
				10,74025

Análisis de cenizas

Tabla 24

Datos para el análisis de cenizas

CENIZAS				
Semilla Germinada				
	Peso crisol vacío	Peso crisol más muestra	Peso Crisol con muestra Incinerada	%
M1	57,6219	58,8365	57,6726	4,1742
M2	50,2480	51,8972	50,3197	4,3476
M3	57,4956	58,5218	57,5479	5,0965
				4,5394
Semilla No Germinada				
	Peso crisol vacío	Peso crisol más muestra	Peso Crisol con muestra Incinerada	%
M1	25,1397	26,5428	25,1946	3,9128
M2	13,5613	14,9544	13,5967	2,5411
M3	28,6982	29,9689	28,7262	2,2035
				2,8858

Análisis de grasa

Tabla 25

Datos para el análisis de grasa

GRASA					
Semilla Germinada					
	Papel vacío	Papel muestra	Papel más muestra con algodón	Peso después del equipo	% Grasa
M1	1,1626	2,5672	2,9672	2,8719	3,7122
M2	1,4963	2,3673	2,7673	2,6872	3,3836
M3	1,2014	2,2381	2,6381	2,5702	3,0338
					3,3765
Semilla No Germinada					
	Papel vacío	Papel muestra	Papel más muestra con algodón	Peso después del equipo	% Grasa
M1	1,1053	2,5426	2,5745	2,4196	6,0922
M2	1,1463	2,5215	2,5549	2,3884	6,6032
M3	1,1708	2,5981	2,5467	2,3692	6,8319
					6,5091

Análisis de fibra

Tabla 26

Datos para el análisis de fibra

FIBRA							
Semilla Germinada							
	Peso Crisoles	Peso crisol + fibra de vidrio después de estufa	Cenizas	% de Fibra			
M1	27,9778	28,1350	28,1150	0,1572	0,1372	0,0200	12,7226
M2	27,7982	28,1580	28,1050	0,3598	0,3068	0,0530	14,7304
M3	27,8571	28,1471	28,1098	0,2900	0,2527	0,0373	12,8621
							13,4384
Semilla no Germinada							
	Peso Crisoles	Peso crisol + fibra de vidrio después de estufa	Cenizas	% de Fibra			
M1	30,5317	31,0134	30,9710	0,4817	0,4393	0,0424	8,8022
M2	30,6138	31,0019	30,9811	0,3881	0,3673	0,0208	5,3594
M3	30,5218	31,0108	30,9802	0,4890	0,4584	0,0306	6,2577
							6,8064

Análisis de proteína

Tabla 27

Datos para el análisis de proteína

PROTEÍNA					
Semilla Germinada					
	Gramos de muestra	Gasto		N	% Proteína
M1	0,1743	4,0 ml	0,4	3,2145	20,0904
M2	0,1892	4,4 ml	0,44	3,2574	20,3590
M3	0,1920	4,3 ml	0,43	3,1370	19,6062
					20,0185
Semilla No Germinada					
	Gramos de muestra	Gasto		N	% Proteína
M1	0,1810	3,1 ml	0,31	2,3990	14,9937
M2	0,1818	3,2 ml	0,32	2,4655	15,4092
M3	0,1833	3,3ml	0,33	2,5217	15,7607
					15,3879

Análisis Físicoquímicos en el sustrato de gasa

Análisis de humedad

Tabla 28

Datos para el análisis de humedad

HUMEDAD				
Semilla Germinada				
	Peso crisol			
	vacío	Peso crisol más muestra	Peso crisol muestra seca	% de Humedad
M1	25,1259	26,1285	25,9836	14,4482
M2	13,5466	14,8784	14,7156	12,2241
M3	28,5657	29,6860	29,5282	14,0855
				13,5859
Semilla No Germinada				
	Peso crisol			
	vacío	Peso crisol más muestra	Peso crisol muestra seca	
M1	57,5851	58,8389	58,7094	10,3286
M2	50,3152	51,8860	51,7013	11,7583
M3	57,4775	58,5268	58,4192	10,2545
				10,78047

Análisis de cenizas

Tabla 29

Datos para el análisis de cenizas

CENIZAS				
Semilla Germinada				
	Peso crisol vacío	Peso crisol más muestra	Peso Crisol con muestra Incinerada	%
M1	57,6250	58,8365	57,6764	4,2427
M2	50,2419	51,8972	50,3177	4,5792
M3	57,5389	58,5218	57,5931	5,5143
				4,7787
Semilla No Germinada				
	Peso crisol vacío	Peso crisol más muestra	Peso Crisol con muestra Incinerada	%
M1	25,1392	26,5428	25,1946	3,9470
M2	13,5631	14,9544	13,5967	2,4150
M3	28,6974	29,9689	28,7262	2,2650
				2,8757

Análisis de grasa

Tabla 30

Datos para el análisis de grasa

GRASA						
Semilla Germinada						
	Papel vacío	Papel muestra	Papel más muestra con algodón	Peso después del equipo	% Grasa	
M1	1,1626	2,6063	3,0063	2,9013	4,0287	
M2	1,4963	2,3783	2,7783	2,6694	4,5789	
M3	1,2014	2,1759	2,5759	2,4794	4,4349	
					4,3475	
Semilla No Germinada						
	Papel vacío	Papel muestra	Papel más muestra con algodón	Peso después del equipo	% Grasa	
M1	1,1053	2,5426	2,5745	2,4196	6,0922	
M2	1,1463	2,5215	2,5549	2,3884	6,6032	
M3	1,1708	2,5981	2,5467	2,3692	6,8319	
					6,5091	

Análisis de fibra

Tabla 31

Datos para el análisis de fibra

FIBRA							
Semilla Germinada							
	Peso Crisoles	Peso crisol + fibra de vidrio después de estufa	Cenizas	% de Fibra			
M1	27,9015	28,1417	28,1217	0,2402	0,2202	0,0200	8,3264
M2	27,8000	28,1526	28,1150	0,3526	0,3150	0,0376	10,6636
M3	27,8535	28,1425	28,1174	0,2890	0,2639	0,0251	8,6851
							9,2251
Semilla No Germinada							
	Peso Crisoles	Peso crisol + fibra de vidrio después de estufa	Cenizas	% de Fibra			
M1	30,5302	31,0205	30,9770	0,4903	0,4468	0,0435	8,8721
M2	30,6133	31,0025	30,9816	0,3892	0,3683	0,0209	5,3700
M3	30,5124	31,0155	30,9838	0,5031	0,4714	0,0317	6,3009
							6,8477

Análisis de proteína

Tabla 32

Datos para el análisis de proteína

PROTEÍNA					
Semilla Germinada					
	Gramos de muestra	Gasto		N	% Proteína
M1	0,1998	4,4 ml	0,44	3,0846	19,2789
M2	0,1856	4,1 ml	0,41	3,0942	19,3389
M3	0,1972	4,2 ml	0,42	2,9832	18,6452
					19,0877
Semilla Normal					
	Gramos de muestra	Gasto		N	% Proteína
M1	0,1805	3,0 ml	0,3	2,3280	14,5502
M2	0,1723	3,1 ml	0,31	2,5201	15,7508
M3	0,1829	3,2 ml	0,32	2,4507	15,3166
					15,2058

Análisis Físicoquímicos en el sustrato de papel

Análisis de humedad

Tabla 33

Datos para el análisis de humedad

HUMEDAD				
Semilla Germinada				
	Peso crisol			
	vacío	Peso crisol más muestra	Peso crisol muestra seca	% de Humedad
M1	25,1117	26,1119	25,9831	12,8774
M2	13,8472	14,8474	14,7102	13,7173
M3	28,6582	29,6584	29,5182	14,0172
				13,5373
Semilla No Germinada				
	Peso crisol			
	vacío	Peso crisol más muestra	Peso crisol muestra seca	
M1	57,5482	58,8412	58,7109	10,0773
M2	50,3824	51,8747	51,6968	11,9212
M3	57,4592	58,5318	58,4192	10,4979
				10,83213

Análisis de cenizas

Tabla 34

Datos para el análisis de cenizas

CENIZAS				
Semilla Germinada				
	Peso crisol vacío	Peso crisol más muestra	Peso Crisol con muestra Incinerada	%
M1	57,6281	58,7389	57,6801	4,6813
M2	50,2737	51,2905	50,3156	4,1208
M3	57,5821	58,6929	57,6383	5,0594
				4,6205
Semilla No Germinada				
	Peso crisol vacío	Peso crisol más muestra	Peso Crisol con muestra Incinerada	%
M1	25,1384	26,9385	25,1989	3,3609
M2	13,5495	14,9805	13,5861	2,5577
M3	28,6801	30,4802	28,7258	2,5387
				2,8191

Análisis de grasa

Tabla 35

Datos para el análisis de grasa

GRASA					
Semilla Germinada					
	Papel vacío	Papel muestra	Papel más muestra con algodón	Peso después del equipo	% Grasa
M1	1,1626	2,6513	3,0513	2,9264	4,7109
M2	1,4963	2,3563	2,7563	2,6492	4,5453
M3	1,2014	2,2437	2,6437	2,5381	4,7065
					4,6542
Semilla No Germinada					
	Papel vacío	Papel muestra	Papel más muestra con algodón	Peso después del equipo	% Grasa
M1	1,1053	2,5426	2,5745	2,4196	6,0922
M2	1,1463	2,5215	2,5549	2,3884	6,6032
M3	1,1708	2,5981	2,5467	2,3692	6,8319
					6,5091

Análisis de fibra

Tabla 36

Datos para el análisis de fibra

FIBRA							
Semilla Germinada							
	Peso Crisoles	Peso crisol + fibra de vidrio después de estufa	Cenizas	% de Fibra			
M1	27,9652	28,1414	28,1283	0,1762	0,1631	0,0131	7,4347
M2	27,8498	28,1379	28,1099	0,2881	0,2601	0,0280	9,7188
M3	27,8072	28,1231	28,0998	0,3159	0,2926	0,0233	7,3758
							8,1764
Semilla Normal							
	Peso Crisoles	Peso crisol + fibra de vidrio después de estufa	Cenizas	% de Fibra			
M1	30,5287	31,0276	30,9830	0,4989	0,4543	0,0446	8,9397
M2	30,6128	31,0031	30,9820	0,3903	0,3692	0,0211	5,4061
M3	30,5028	31,0201	30,9874	0,5173	0,4846	0,0327	6,3213
							6,8890

Análisis de proteína

Tabla 37

Datos para el análisis de proteína

PROTEÍNA					
Semilla Germinada					
	Gramos de muestra	Gasto		N	% Proteína
M1	0,1972	4,2 ml	0,42	2,9832	18,6452
M2	0,1984	4,1 ml	0,41	2,8946	18,0912
M3	0,1948	4,3 ml	0,43	3,0919	19,3243
					18,6869
Semilla No Germinada					
	Gramos de muestra	Gasto		N	% Proteína
M1	0,1829	3,0 ml	0,30	2,2975	14,3593
M2	0,1905	3,4 ml	0,34	2,4999	15,6246
M3	0,1823	3,3ml	0,33	2,5356	15,8472
					15,2770

Evidencia visual de la germinación en los distintos sustratos

Imágenes correspondientes al proceso de germinación del *Amaranthus caudatus* en los tres sustratos utilizados: algodón, gasa y papel. Las fotografías fueron tomadas desde diferentes ángulos con el propósito de mostrar las características visuales más relevantes observadas durante el experimento. Estas imágenes refuerzan los resultados descritos en el capítulo de análisis, evidenciando el comportamiento diferencial del desarrollo radicular y la distribución de las plántulas según el tipo de sustrato

Sustrato algodón

Ilustración 3

Sustrato algodón (vista lateral)



Se observan plántulas con buen desarrollo vertical, con raíces y tallos visibles sobre la superficie del sustrato, lo que facilitó su posterior recolección.

Ilustración 4

Sustrato algodón (vista superior)



Desde arriba se aprecia una distribución uniforme de las semillas germinadas, con radículas claramente diferenciadas.

Ilustración 5

Germinado en algodón

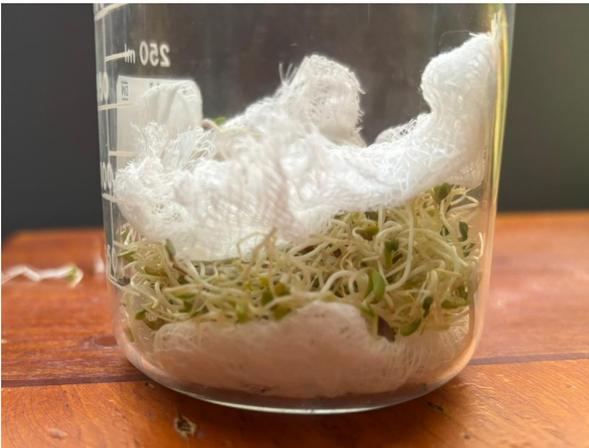


Se observa una germinación uniforme de las semillas de *Amaranthus caudatus* sobre el sustrato de algodón. Las plántulas presentan buen desarrollo radicular y emergencia homogénea, cubriendo casi la totalidad de la superficie del sustrato.

Sustrato gasa

Ilustración 6

Sustrato gasa (vista lateral)



Las plántulas muestran un crecimiento similar al del algodón; sin embargo, se nota una mayor integración de las raíces con el tejido del sustrato.

Ilustración 7

Sustrato gasa (vista superior)



La imagen evidencia una germinación homogénea, aunque con raíces parcialmente adheridas al sustrato, lo que se relaciona con los resultados sobre dificultades en la extracción.

Sustrato papel

Ilustración 8

Sustrato papel (vista lateral)



Ilustración 9

Germinado en papel



En la imagen se observa una distribución desigual del proceso de germinación. La mayoría de las semillas germinadas se concentran en los bordes del sustrato, donde se formaron radículas visibles y alargadas. En contraste, el centro del papel muestra una baja o nula germinación, con semillas sin desarrollo aparente. Este patrón sugiere una distribución irregular de la humedad, posiblemente debido a la limitada capacidad del papel absorbente para retener agua de forma uniforme, afectando negativamente las condiciones de imbibición en la zona central.

Evidencia visual del trabajo de laboratorio para los análisis fisicoquímicos

Realizado en los laboratorios de Agroindustria de la Universidad Nacional de Chimborazo, donde se llevaron a cabo los análisis fisicoquímicos de las muestras de *Amaranthus caudatus*, tanto germinadas como no germinadas. Estos procedimientos permitieron evaluar parámetros como humedad, proteína, fibra, grasa y ceniza, con el objetivo de caracterizar y comparar los efectos de la germinación en distintos sustratos.

Ilustración 10

Estufa de secado



Estufa de secado a 63 °C con un temporizador de 6.55 horas. Este equipo se utiliza comúnmente para la determinación de humedad en alimentos. Las muestras se mantienen a temperatura constante durante varias horas para eliminar el contenido de agua, permitiendo así calcular la pérdida de peso por deshidratación.

Ilustración 11

Placas Petri con muestra



Placas de Petri con muestras de semillas de amaranto almacenadas dentro de un desecador. Este paso es fundamental para mantener las muestras secas y evitar la absorción de humedad del ambiente antes de realizar pesadas u otros análisis. También pueden contener muestras previamente secadas en estufa para determinaciones de humedad o conservación.

Ilustración 12

Mufla Thermolyne



Utilizada para la determinación del contenido de cenizas en las muestras de amaranto germinado y no germinado. Este equipo permite alcanzar altas temperaturas (generalmente 500–600 °C) para incinerar el material orgánico y obtener el residuo inorgánico. En el display se visualiza la temperatura alcanzada durante el proceso. La mufla es un equipo esencial en análisis gravimétricos para la caracterización fisicoquímica de alimentos.

Ilustración 13

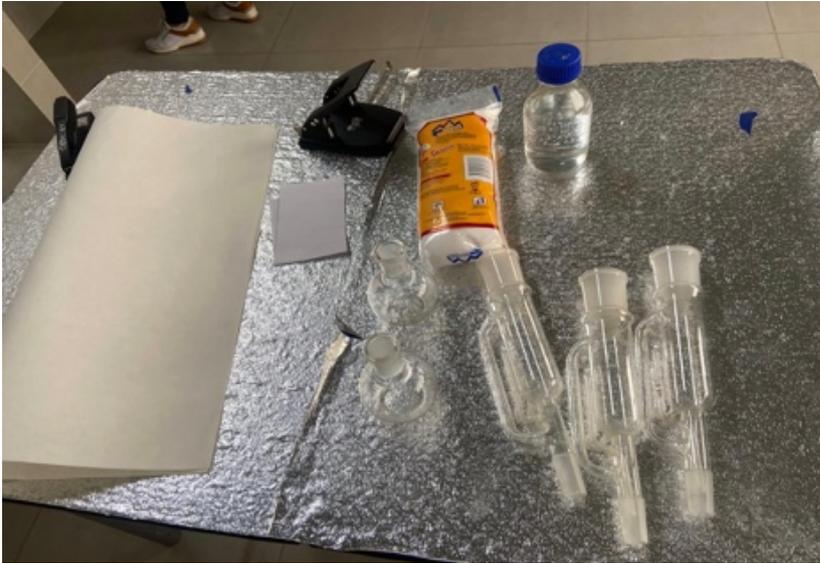
Muestras después de incineración



Se observan crisoles con residuos minerales tras la eliminación total de la materia orgánica.

Ilustración 14

Equipo Soxhlet



Montaje del equipo Soxhlet utilizado para la extracción de grasa. Este sistema permite una extracción continua con disolventes orgánicos (como hexano), mediante ciclos de calentamiento, evaporación y condensación. El método es especialmente eficaz para determinar el contenido lipídico en muestras vegetales.

Ilustración 15

Digestión de muestra para análisis de fibra cruda



Equipo de digestión donde la muestra es sometida a condiciones controladas para eliminar componentes solubles

Ilustración 16

Filtración de extracto vegetal



Proceso de separación de la fracción no digerida en el análisis de fibra cruda. Se transfiere cuidadosamente la muestra desde un vaso de precipitado hacia un crisol con papel filtro, con el fin de retener los residuos insolubles (fibra). Este paso es esencial para su posterior secado, calcinación y pesada, permitiendo cuantificar con precisión el contenido de fibra dietética.

Ilustración 17

Digestor VELP



Utilizado principalmente para la digestión de muestras orgánicas en el análisis de nitrógeno por el método Kjeldahl, con una temperatura de trabajo inicial de 21 °C. Este digestor permite una digestión homogénea y simultánea de múltiples muestras, asegurando eficiencia en los procesos de preparación de muestra para análisis de proteína.

Ilustración 18

Destilador automático VELP



Es un procedimiento estándar en análisis de alimentos. Este método se basa en la cuantificación del nitrógeno total presente, el cual se multiplica por un factor (generalmente 6.25) para obtener el porcentaje de proteína.

Ilustración 19

Prueba cualitativa del almidón



Se observa la ejecución de la prueba cualitativa de almidón en una cápsula de Petri. Mediante la adición de una solución de yodo, se evidencia la presencia de almidón por la formación de un complejo de color azul oscuro o morado intenso, característico de esta interacción.

Ilustración 20

Soluciones para análisis en el laboratorio



Las muestras identificadas como M1, M2 y M3 corresponden a los distintos sustratos utilizados durante la germinación del amaranto. Este análisis se basa en el método gravimétrico posterior a la digestión química